DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Fünfzehnter Jahrgang | 4. Februar 1927 | Heft 5

Kausalität und Statistik in der modernen Physik[1]).

Von P. JORDAN, Göttingen.
(Aus dem Institut für theoretische Physik der Universität.)

Sehr verehrte Anwesende!

Die Entwicklung der Physik in den letzten Jahrzehnten hat immer wieder grundsätzliche, erkenntnistheoretische Fragen in den Vordergrund gebracht. In der Relativitätstheorie ist das Raumzeitproblem vorläufig abschließend geklärt worden. Neue Fragen sind mit der Quantentheorie aufgetaucht. Zu ihnen gehört besonders eine Frage: Gibt es eine Kausalität im elementaren physikalischen Geschehen? Ist das Schicksal der Atome vollständig determiniert, oder gibt es Lücken in der kausalen Bestimmtheit der elementaren Ereignisse?

Die Physiker zweifeln heute nicht mehr daran, daß die Frage nach dem Vorhandensein einer vollständigen Kausalität nur durch die Erfahrung entschieden werden kann — daß also die Kausalität nicht etwa eine aprioristische Denknotwendigkeit ist. Zwar ist ein gewisses Maß von Kausalität notwendige Vorbedingung für die Möglichkeit einer physikalischen Wissenschaft sowohl als auch überhaupt eines menschlich geregelten Daseins. Und glücklicherweise besteht ja in unseren makroskopischen Dimensionen eine anscheinend ausnahmslos zuverlässige Kausalität. Aber für das atomare Größengebiet folgt daraus zunächst nicht mehr, als daß es im statistischen Mittel kausalen Gesetzen unterliegt. Es bleibt die Frage, ob auch dem einzelnen Atom sein Schicksal vollständig vorgeschrieben ist.

Vor ihrer Erörterung wird es nützlich sein, zunächst einmal dem Begriff der Kausalität eine genauere Betrachtung zu widmen. Der Physiker kann sich nicht zufrieden geben mit der ungefähren Vorstellung, die wir vom Sinn dieses Wortes besitzen. Er hat auch kein Interesse für die metaphysischen Bedeutungen, die ihm von manchen Philosophen beigelegt werden. Die Kausalität definieren heißt für den Physiker nichts anderes, als angeben, wie man ihr Vorhandensein oder Nichtvorhandensein experimentell feststellen kann. Damit ist bereits klar, daß auch die Definition der Kausalität sich fortschreitend verändern muß mit dem Fortschritt unserer Anschauungen, Kenntnisse und experimentellen Mittel. Betrachten wir also zunächst die Rolle der Kausalität in der klassischen Feldphysik!

Die klassische Feldphysik behauptet, daß man die physikalische Wirklichkeit beschreiben kann — wobei wir das Wort „beschreiben" hier gewissermaßen im rein geographischen Sinne gebrauchen wollen — indem in einem vierdimensionalen Raum-Zeitgebiet für jeden Punkt gewisse meßbare Größen — Feldstärken, Gravitationspotentiale usw. — zahlenmäßig angegeben werden. Und dabei besteht eine Kausalität in folgendem Sinne: Denken wir uns ein endliches Stück des Raumes abgegrenzt; etwa in Form eines Kastens. Wir wollen nicht näher darauf eingehen, wie unsere Formulierung unter exakter Berücksichtigung der relativistischen Raum-Zeitverhältnisse durchzuführen wäre — was natürlich keinerlei Schwierigkeit machen würde. Zu einer bestimmten Zeit — sagen wir um 11 Uhr — möge der physikalische Zustand innerhalb des ganzen Kastens vollständig bekannt, vollständig ausgemessen sein. Ferner soll der physikalische Zustand auf der ganzen Oberfläche des Kastens von 11 Uhr bis 12 Uhr dauernd kontrolliert werden. Durch die so festgestellten Umstände sind die physikalischen Vorgänge im Innern des ganzen Kastens von 11 bis 12 Uhr eindeutig bestimmt: Reproduziert man zu beliebiger Zeit an beliebigem Orte den Anfangszustand des Kastens und den zeitlichen Verlauf der Vorgänge an seiner Oberfläche, so reproduzieren sich von selbst alle Vorgänge im Innern des Kastens. Innerhalb eines gewissen Zeitintervalls — von der Größenordnung Kastendurchmesser dividiert durch Lichtgeschwindigkeit — sind die Vorgänge in der Mitte des Kastens sogar unabhängig von denen an der Oberfläche.

Dies sind Behauptungen, die einer experimentellen Prüfung fähig sind. Freilich muß dabei ausdrücklich vorausgesetzt werden, daß der Anfangszustand im Kasten nicht etwa derart verwickelt ist, daß seine vollständige physikalische Ausmessung völlig unmöglich wird. Man wird also beispielsweise den Fall ausschließen müssen, daß ein lebendes Tier in dem Kasten sitzt — die Vorstellung, daß man auch dabei eine genaue Ausmessung des physikalischen Zustandes durchführen könnte, entfernt sich allzuweit von allem praktisch Möglichen. Für die Zwecke der Biologie muß das Kausalitätsprinzip und das Kausalitätsproblem wesentlich anders und komplizierter formuliert werden als für die Physik.

Aber bleiben wir bei der physikalischen Kausalität! Es muß betont werden, daß diese Kausalität etwas sehr Merkwürdiges ist. Sie ist durchaus nicht gleichbedeutend mit der Existenz physikalischer Gesetze überhaupt — mit der Existenz mathematischer Beziehungen zwischen den physikalischen Größen im Weltgebiet. Es herrscht zudem eine eigenartige Unsymmetrie zwischen den räumlichen und der zeitlichen Weltkoordinate: Nämlich es besteht gemäß dem Kausalitätsprinzip zwischen gewissen zeitlich getrennten Weltgebieten

[1]) Habilitationsvortrag.

eine physikalische Abhängigkeit; zwischen räumlich getrennten Gebieten besteht eine solche Abhängigkeit nie.

Theoretisch begründet ist das Kausalitätsprinzip der Feldphysik in zwei Umständen, die wir hier nur ganz kurz bezeichnen wollen, ohne auf den mathematischen Beweis dafür einzugehen, daß sie wirklich die Gültigkeit des Kausalitätsprinzips in der erläuterten Form gewährleisten: Erstens sind die physikalischen Gesetzmäßigkeiten, d. h. die mathematischen Beziehungen, denen die Feldgrößen genügen, nichts anderes als Differentialgleichungen, und zwar in erster Annäherung hauptsächlich lineare partielle Differentialgleichungen zweiter Ordnung. Zweitens muß man bekanntlich, wenn man eine möglichst einfache Geometrie im vierdimensionalen Weltgebiet haben will, bei welcher der Phythagoreische Lehrsatz gilt, nicht die Zeit selbst, sondern die imaginäre Zeit als Weltkoordinate einführen. Dieser Umstand ist sehr wesentlich. Wenn statt dessen die vierdimensionale Welt vier reelle Dimensionen hätte (während gleichzeitig die allgemeinen physikalischen Gesetze, also die Differentialgleichungen des Elektromagnetismus und der Gravitation unverändert blieben), so würde es gewissermaßen viel mehr als Kausalität geben: Man würde aus der genauen Kenntnis eines kleinen Weltgebietes den physikalischen Zustand zeitlich oder räumlich beliebig weit entfernter Weltgegenden ableiten können. Wenn dagegen die Welt nur zwei reelle und außerdem zwei imaginäre Dimensionen hätte, so würde es keine Kausalität mehr geben. Es könnte dann vorkommen, daß innerhalb eines abgeschlossenen Kastens plötzlich Bewegungen auftreten würden, ohne daß dafür eine Ursache im Innern des Kastens vorhanden gewesen oder durch die Wände hereingekommen wäre. Dies ist also die Bedeutung des Kausalitätsprinzips in der Feldphysik: Es ist nicht etwa selbst ein Naturgesetz — Naturgesetze sind die Differentialgleichungen, denen dies physikalische Feld unterliegt. Sondern es ist eine mathematische Folgerung aus den Naturgesetzen, ein auf die Naturgesetze angewandter Lehrsatz aus der mathematischen Theorie der hyperbolischen Differentialgleichungen.

Man muß also wirklich darauf gefaßt sein, daß das Kausalitätsprinzip verlorengehen könnte, wenn man von der klassischen Feldphysik übergeht zur Quantentheorie. Denn hierbei erfahren ja gerade diejenigen physikalischen Grundannahmen eine einschneidende Veränderung, welche wir als theoretische Ursachen für die Gültigkeit des Kausalitätsprinzipes bezeichnet haben. Schon die Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit kann, wie wir jetzt wissen, nicht in der von der klassischen Physik angenommenen Weise durchgeführt werden: Die physikalischen Größen sind nicht stetig im Weltgebiet ausgebreitet; die physikalischen Bewegungen erfolgen nicht in durchweg stetiger Weise; sondern es gibt elementare Unstetigkeiten, es geschehen Quantensprünge. Was dabei von der Kausalität ersichtlich übrigbleibt, ist zunächst nichts weiter als eine statistische Kausalität. Wenn wir mit sehr vielen gleichartigen Atomen experimentieren, oder wenn wir ein mit wenigen Atomen durchzuführendes Experiment zahllose Male wiederholen, dann kommen wir immer zu einem Ergebnis, das mit dem Kausalitätsprinzip in Einklang ist. Wir haben uns vorhin überlegt, daß physikalische Gesetzmäßigkeit und physikalische Kausalität durchaus nicht dasselbe sind. Es ist deshalb nicht überflüssig, zu betonen, daß es sich bezüglich der physikalischen Gesetzmäßigkeit in diesem Punkte genau so verhält, wie bezüglich der Kausalität: Alles, was wir bis heute kennen, ist im wesentlichen statistische Gesetzlichkeit.

In der Erkenntnis dieser Gesetzlichkeit sind bekanntlich in letzter Zeit wichtige Fortschritte erzielt worden. Man kann heute z. B. das mit den Bewegungen der Elektronen im Innern eines Atoms verknüpfte Spektrum im Prinzip ebenso zuverlässig berechnen wie nach der klassischen Mechanik die Bewegungen der Planeten. Aber obwohl der Gang der Rechnung in beiden Fällen ein sehr ähnlicher ist, besteht doch ein wesentlicher Unterschied in der Bedeutung der Rechenergebnisse: Die klassische Rechnung gibt uns Aufschluß über das Schicksal gerade unseres speziellen Planetensystems. Die quantenmechanische Rechnung liefert im allgemeinen keine Aussagen über ein bestimmtes einzelnes Atom, sondern nur Mittelwerte über eine große Menge gleichartiger Atome. Man kann zwar aus der quantenmechanischen Rechnung beispielsweise die Energie eines einzelnen Atoms in einem gewissen Zustand exakt entnehmen — aber nur deshalb, weil diese Energie gerade für alle Atome dieses Zustandes dieselbe ist — so daß die Energie des Einzelatoms identisch ist mit ihrem Mittelwert über viele Atome. Betrachten wir jedoch z. B. das Verhalten des Atoms unter dem Einfluß irgendwelcher äußerer Einwirkungen — etwa auffallenden Lichtes oder auftreffender Elektronenstöße — so liefert die Rechnung ein Ergebnis, das wir keinesfalls nach klassischem Schema so verstehen können, daß bei bestimmten Werten der Phasenkonstanten des Atoms ganz bestimmte Ereignisse eintreten. Sondern das Ergebnis der Rechnung kann nur so gedeutet werden: Es besteht eine angebbare Wahrscheinlichkeit dafür, daß das Atom dieses tut, und es besteht eine angebbare Wahrscheinlichkeit dafür, daß es etwas anderes tut.

Ähnlich verhält es sich mit der Optik. Die klassische Theorie der Optik liefert ja alle Interferenzversuche in einwandfreier Übereinstimmung mit der Wirklichkeit. Aber wenn die Rechnung eine bestimmte Intensität des Lichtes an einem gewissen Orte ergibt, so bedeutet das nicht, daß wirklich eine genau entsprechende Energiemenge dort abgeliefert werden muß. Sondern das klassische Wellenfeld bedeutet lediglich eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, daß dort Lichtquanten

ankommen. Und man kann bekanntlich auch zu einem Strahl von materiellen Korpuskeln einen undulatorischen Strahl hinzukonstruieren, der sich in gewisser Hinsicht zu den Korpuskeln genau so verhält wie der undulatorische Lichtstrahl zu den dahinfliegenden Lichtquanten. Auch dabei zeigt sich wie überall die rein statistische Natur der bis jetzt bekannten quantenmechanischen Gesetze.

Wir wollen also unsere Aufmerksamkeit nicht auf die diskreten, unstetigen Einzelzustände und Einzelprozesse richten, sondern nur auf die für sie bestehenden Wahrscheinlichkeiten. Mit diesen Wahrscheinlichkeiten sind nun wieder stetig veränderliche Größen in die Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit eingeführt, und wir sind damit in einem ganz grundsätzlichen Punkte der klassischen, stetigen Beschreibungsweise formal wieder nähergekommen. Es liegt deshalb die Vermutung nahe, daß für die stetig veränderlichen Wahrscheinlichkeitsgrößen ein Kausalitätsgesetz ähnlich dem früher formulierten Kausalitätsgesetz der klassischen Feldstärken bestehen könnte. Das ist nun in der Tat der Fall — allerdings in einer abstrakteren Weise als in der klassischen Theorie.

Wie Sie wissen, ist SCHRÖDINGER auf einem eigenen, unabhängigen Wege zu einer Formulierung der Quantenmechanik gelangt, die sich als mathematisch als gleichbedeutend mit der aus HEISENBERGS Ideen entwickelten Matrizentheorie erwiesen hat. Er hat mathematische Zusammenhänge der Quantenmechanik aufgedeckt, die zwar infolge der mathematischen Äquivalenz beider Theorien im Grunde genommen schon in der Matrizentheorie enthalten waren, deren explizite Aufstellung aber eine ganz fundamentale Bereicherung der Quantenmechanik bedeutet.

SCHRÖDINGER hat außerdem versucht, im Anschluß an seine Formeln eine neue physikalische Grundlage der Quantentheorie zu entwickeln, wobei er sich zu den von PLANCK, EINSTEIN, BOHR entwickelten Grundvorstellungen der Quantentheorie — stationäre Zustände, Quantensprünge usw. — in radikalen Gegensatz gesetzt hat. Er hat versucht, auf quasiklassische Vorstellungen zurückzukommen, in denen keinerlei Unstetigkeiten mehr auftraten — in denen also auch das Kausalitätsprinzip wieder in klassischer Form gelten kann. Aber diese SCHRÖDINGERschen Spekulationen haben die einmütige Ablehnung aller anderen an der Entwicklung der Quantenmechanik beteiligten Verfasser gefunden. Es ist uns nicht zweifelhaft erschienen, daß die neuen SCHRÖDINGERschen Begriffe ihre physikalische Deutung im engsten Anschluß an die alten Vorstellungen der stationären Zustände und Quantensprünge und die von HEISENBERG eingeführten Gedanken erhalten müssen, daß also die SCHRÖDINGERschen Gesetzmäßigkeiten gleich den matrizentheoretischen Gesetzen statistisch aufgefaßt werden müssen, wie schon vorhin erläutert wurde. Eine solche statistische Auffassung der SCHRÖDINGERschen Theorie ist in sehr klarer und eindrucksvoller Weise von BORN präzisiert worden, auf dessen Überlegungen ich mich in den folgenden Betrachtungen stützen kann.

Der wesentliche Inhalt der SCHRÖDINGERschen Entdeckung ist bekanntlich folgender: Man kann die Gesetze der Quantenmechanik, die in der Matrizentheorie mit Hilfe der transzendenten Algebra, als Systeme von unendlich vielen Gleichungen mit unendlich vielen Unbekannten formuliert wurden, statt dessen auch durch ganz gewöhnliche Differentialgleichungen ausdrücken. Hierdurch ist formal eine große Annäherung an die klassische Theorie zurückgewonnen. Die Frage, wie es möglich sei, in dem unstetigen Gewirr der atomaren, quantenhaften Prozesse etwas mit Differentialgleichungen zu beschreiben, beantworten wir mit BORN so: Die Funktion, welche der Differentialgleichung genügen soll, ist eben die Wahrscheinlichkeitsfunktion.

Wir wollen nun diese Wahrscheinlichkeitsfunktion etwas näher betrachten und uns dabei auch ihre Analogie zu klassischen Verhältnissen deutlich machen. Es möge ein aus zwei Massenpunkten mit den rechtwinkligen Koordinaten x_1, x_2 bis z_1, z_2 bestehendes mechanisches System betrachtet werden, das also 6 Freiheitsgrade besitzt. Wir konstruieren uns jetzt etwas Ähnliches, wie den in der statistischen Mechanik betrachteten Phasenraum des Systems; nämlich den Koordinatenraum, welcher jedoch nur halb soviel Dimensionen besitzt, wie der Phasenraum. In unserem Beispiele ist es ein 6-dimensionaler Raum mit den Koordinaten x_1 bis z_2. In diesem Koordinatenraum wird das System, wenn es bestimmte Koordinaten, aber beliebige Impulse besitzt, durch einen bestimmten Punkt dargestellt, den wir als den Systempunkt bezeichnen wollen. Nach der klassischen Mechanik würde dieser Systempunkt dann im Koordinatenraum eine gewisse Bahn beschreiben. Wir können aber, wenn wir ihn zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort im Koordinatenraume finden, nicht im voraus wissen, wie er laufen wird, weil wir ja aus dem Orte des Systempunkts nur die Koordinaten und nicht die Impulse unserer zwei Massenpunkte erkennen. Sondern man kann nur die Wahrscheinlichkeit dafür bestimmen, daß der Punkt von einem Orte aus in einer gewissen Richtung weiterlaufen wird.

Freilich können wir in der klassischen Mechanik sofort diese statistische Aussage zu einer exakten Vorhersage verschärfen, indem wir nicht nur den Ort, sondern auch die Geschwindigkeit unseres Systempunktes beobachten. Aber dies ist genau der Punkt, wo die Quantenmechanik sich anders als die klassische verhält. Wenn an einem quantenmechanischen System gewisse Koordinaten empirisch beobachtbare Größen sind — wobei wir das Wort Koordinaten so allgemein gebrauchen, daß z. B. auch die Energie oder die Quantenzahlen Koordinaten sind — dann sind die zu diesen Koordinaten gehörigen Impulse

immer gerade prinzipiell unbeobachtbare Größen[1]). Wir können deshalb nur die vorhin formulierte statistische Frage der klassischen Mechanik in die Quantenmechanik übertragen und ihre Beantwortung wahrscheinlich aus der SCHRÖDINGERschen Differentialgleichung herleiten. Ich muß dabei „wahrscheinlich" sagen, weil diesbezügliche Überlegungen noch nicht abgeschlossen sind.

Aber man kann die folgende Frage, die mit der eben erörterten eng verwandt ist, wohl als durch Überlegungen von BORN und PAULI zuverlässig beantwortet ansehen. Wenn wir von unserem System die Energie oder die Quantenzahlen kennen oder noch allgemeiner: Wenn wir wissen, das System hat eine gegebene Wahrscheinlichkeit, im ersten Quantenzustand zu sein; und eine gegebene Wahrscheinlichkeit, im zweiten Quantenzustand zu sein; und so fort. Wie groß ist dann die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Systempunkt im Koordinatenraume der rechtwinkligen Koordinaten x_1 bis z_2 gerade an einer bestimmten Stelle sitzt? Diese Frage ist sofort zu beantworten, wenn man die SCHRÖDINGERsche Wellenfunktion im Koordinatenraume kennt.

Diese SCHRÖDINGERsche Funktion, die also eine Funktion der 6 Veränderlichen x_1 bis z_2 ist und außerdem noch von der Zeit abhängt, genügt der fundamentalen von SCHRÖDINGER angegebenen Differentialgleichung. Und man kann nun von dieser Wahrscheinlichkeitsfunktion wiederum die Gültigkeit eines exakten Kausalitätsprinzips behaupten. Man muß dazu jedoch naturgemäß nicht einen Kasten im gewöhnlichen dreidimensionalen Raume betrachten, sondern eben einen 6-dimensionalen Kasten im 6-dimensionalen Koordinatenraum. Dann ist die Formulierung des Kausalitätsprinzips wörtlich dieselbe wie in der klassischen Physik; an Stelle der Ausmessung von elektrischen Feldstärken usw. im Innern und an der Oberfläche des Kastens tritt jedoch die Ausmessung der SCHRÖDINGERschen Wahrscheinlichkeitsfunktion.

Wenn wir also zusammenfassen: Die klassische Feldphysik beschrieb die Welt durch in einem 3-dimensionalen Raume stetig ausgebreitete und mit der Zeit stetig bewegte physikalische Größen. Die Quantenmechanik beschreibt die Welt mit Hilfe eines abstrakten Koordinatenraumes, der ungeheuer viele Dimensionen besitzt: Die Anzahl der Dimensionen ist proportional der Anzahl aller in der Welt vorhandener Materieteilchen. In diesem abstrakten Raume bewegen sich wiederum stetig ausgebreitete Größen, die aber nicht unmittelbar das Einzelgeschehen in der atomaren Erscheinungswelt beschreiben, sondern nur die Wahrscheinlichkeiten quantenhafter Prozesse bestimmen. Die Kausalität — nicht als ein metaphysischer Gegensatz zu einem metaphysischen Zufallsbegriff aufgefaßt, sondern als die früher formulierte physikalische Aussage verstanden — gilt in formal völlig gleicher Weise für beide Theorien.

Man kann natürlich aus dem abstrakten Koordinatenraume wieder in den gewöhnlichen dreidimensionalen Raum zurückkehren, aber man erhält dann eine sehr verwickelte Formulierung des quantenmechanischen Kausalitätsprinzips — denn die Betrachtung des vieldimensionalen Koordinatenraumes ist eben die dem Problem am besten angemessene. Man kann aber doch wenigstens sehen, daß diese verwickelte dreidimensionale Formulierung ungefähr das bedeutet, was ich früher ganz roh und unexakt gesagt habe: daß im Mittel auch die alte dreidimensionale Kausalität erhalten bleibt.

Wir haben gesehen, wie man durch Betrachtung von Mittelwerten und Wahrscheinlichkeiten die elementaren Unstetigkeiten im physikalischen Geschehen eliminieren und Zusammenhänge finden konnte, die mathematisch zu erfassen waren durch ähnliche Methoden wie die von vornherein stetigen Größen der klassischen Physik. Die Quantenmechanik zeigt sich hier ganz als quantitative Verschärfung des Korrespondenzprinzipes von BOHR, der stets, im Gegensatze zu der oft vertretenen Ansicht von der ausschließlichen Herrschaft ganzer Zahlen, daran festgehalten hat, daß man danach streben müsse, durch Mittelwertsbetrachtungen eine formale Analogie zu den klassischen Gesetzen wiederzugewinnen.

Wir wollen uns aber nun von der Betrachtung der stetigen Mittelwerte wieder zurückwenden zu den unstetigen Einzelprozessen. Und wir wollen uns die Frage vorlegen, was man denn nun, nachdem alle irgendwie zu formulierenden Mittelwertsprobleme im Prinzip beantwortet sind, über die Einzelprozesse aussagen kann. Die Beantwortung dieser Frage ist gar nicht so einfach, wie man zunächst glauben möchte, und ich würde mich einer sehr leichtfertigen Behandlung meines Themas schuldig machen, wenn ich nicht wenigstens hinweisen wollte auf die Schwierigkeiten, die dabei auftreten.

Wir wollen zunächst einmal die empirische Seite der Sache betrachten. Man könnte vielleicht denken, daß auch das Experiment in keinem Falle etwas anderes als Mittelwerte zu liefern vermag. Viele von Ihnen werden im letzten Sommer den schönen Vortrag gehört haben, den Herr ZERNICKE über die BROWNsche Bewegung und insbesondere über Arbeiten des Schweden ISING hier gehalten hat, und der uns in so lebhafter und anschaulicher Weise unüberwindliche Grenzen aufgezeigt hat, welche der fortschreitenden Verfeinerung der physikalischen Meßtechnik gesetzt sind. Es ist unmöglich, die Meßgenauigkeit beispielsweise eines Galvanometers über eine gewisse angebbare Grenze hinaus zu steigern; es ist unmöglich wegen der BROWNschen Bewegung in allen Teilen der Apparatur. Die Nadel, der Aufhängefaden, das Gehäuse

[1]) Dabei ist es möglich, mit verschiedenen experimentellen Anordnungen verschiedene Koordinaten zu beobachten; aber bei einer bestimmten Anordnung kann man bestenfalls gewisse, bestimmte Koordinaten eines Atoms exakt beobachten, während dann in dieser Versuchsanordnung die zugehörigen Impulse gerade nicht exakt beobachtbar sind.

und die umgebende Luft bestehen aus Atomen, die unausgesetzt in unregelmäßiger, unkontrollierbarer thermischer Bewegung begriffen sind; und der Strom, der durch das Galvanometer fließt, besteht aus einzelnen Elektronen und zeigt deshalb unregelmäßige, nur statistisch berechenbare Schwankungen seiner Intensität, welche die Leistungsfähigkeit des Apparates in ganz derselben Weise begrenzen. Wenn man bedenkt, daß dasselbe bei allen unseren physikalischen Apparaten der Fall ist, daß alle unsere Meßinstrumente thermisch zittern und wackeln, so möchte man leicht glauben, daß der Experimentator über Zustände und Prozesse einzelner Atome grundsätzlich ebensowenig etwas feststellen könnte, wie die Quantenmechanik theoretische Vorhersagen dafür zu machen weiß. Aber es gibt doch ein radikales Mittel, die BROWNsche Bewegung der Apparaturen zum Stillstand zu bringen. Das einfache Rezept, welches der Theoretiker dem Experimentator dafür geben kann, ist dieses: Mache deine Experimente beim Nullpunkt der absoluten Temperatur! Und glücklicherweise haben die Experimentalphysiker noch ein anderes Rezept gefunden, welches in seiner Durchführung nicht ganz so unangenehm, im Grunde genommen jedoch dem ersten gleichwertig ist. Es lautet: Arbeite mit wenigen sehr energiereichen Teilchen! Verglichen mit der Energie eines schnellen α-Teilchens ist die thermische Energie der Atome ringsum verschwindend klein, das thermische Gewimmel dieser Atome stört nicht mehr. Und bekanntlich können wir nun, hauptsächlich dank C. T. R. WILSONS grundlegenden Untersuchungen, wirklich das Schicksal eines einzelnen α-Teilchens empirisch erkennen, seine Bahn verfolgen und den Zeitmoment des Quantensprunges messen, mit dem sie endigt.

Es gehören also unter Umständen die Zeitmomente einzelner Quantensprünge durchaus zu den empirisch faßbaren Größen, und es fragt sich, was die Theorie nun über diese Zeitmomente auszusagen weiß. Die einfachste und nächstliegende Antwort ist offenbar diese. Die Theorie liefert uns Mittelwerte, sie sagt, wie viele Quantensprünge in einer gewissen Zeit im Mittel über viele Einzelexperimente geschehen müssen. Folglich — so muß man schließen — liefert die Theorie für den einzelnen Quantensprung eine Wahrscheinlichkeit dafür, daß er zu einer vorgegebenen Zeit stattfindet. Und folglich — so möchte man jetzt noch weiter schließen — ist der exakte Augenblick für das Eintreten des Quantensprunges wirklich undeterminiert, und stets existiert nur eine Wahrscheinlichkeit für den Quantensprung. Aber dieser letzte Schluß ist in Wirklichkeit nicht mehr eine notwendige Folgerung aus dem Vorhergehenden; sondern es ist eine darüber hinausgehende Hypothese. Es ist diejenige Hypothese, welche BOHR, KRAMERS und SLATER in ihrer Strahlungstheorie durchzuführen suchten. Diese Forscher haben auch klar erkannt, daß diese Hypothese zu einer ganz bestimmten Folgerung führen mußte, nämlich zu der Folgerung einer nur statistischen Gültigkeit des Energiesatzes. Diese Folgerung ist bekanntlich durch glänzende Experimente von BOTHE und GEIGER und von COMPTON widerlegt worden. Wir können heute ganz bestimmt behaupten: Wenn ein Atom mit einem Quantensprunge Licht entsendet und dieses Licht, ohne durch Interferenzen an seiner geradlinigen Ausbreitung gehindert zu sein, von einem anderen Atome absorbiert wird, dann folgt der Quantensprung des absorbierenden Atoms auf den des emittierenden in einem zeitlichen Abstand, der genau dem räumlichen Abstand der Atome entspricht. Wir sehen also, daß die Zeitmomente von Quantensprüngen jedenfalls nicht immer undeterminiert sind.

Man könnte vielleicht nun versuchen, zu sagen: Die Zeitmomente von Quantensprüngen sind determiniert, soweit der strenge Energiesatz es verlangt, sonst undeterminiert. Aber diese etwas doppelzüngige Erklärung ist doch zu unbestimmt, als daß man etwas damit anfangen könnte, sobald z. B. durch Interferenzen verwickeltere Verhältnisse eintreten. Ein anderer naheliegender Weg zur Überwindung dieser Schwierigkeiten ist schon vor längerer Zeit von WENTZEL versucht worden: Da der Absorptionsakt in unserem eben besprochenen Beispiel vollkommen determiniert ist durch den vorangehenden Emissionsakt, so könnte man beide zusammen als einen einzigen quantentheoretischen Elementarakt betrachten und dann hoffen, daß derartige Elementarakte voneinander statistisch unabhängig sind. Es scheint jedoch, daß man auch auf diesem Wege nicht zu einfachen Formulierungen gelangt.

Es ist nun sehr bezeichnend, daß in den vorhin erläuterten BORN-PAULIschen Formulierungen in der Tat nicht etwas über die Wahrscheinlichkeit eines Quantensprunges ausgesagt wurde — wir haben ja gerade gesehen, daß das nicht zu unabhängigen Wahrscheinlichkeiten führen könnte — sondern über Wahrscheinlichkeiten dafür, daß der Systempunkt sich an einem bestimmten Ort im Koordinatenraum befindet. Man kann also vielleicht hoffen, daß diese Überlegungen uns wirklich zu unabhängigen physikalischen Elementarwahrscheinlichkeiten führen werden.

Nämlich, obwohl wir nach der Quantenmechanik alle möglichen Wahrscheinlichkeiten im Prinzip berechnen können, bleibt doch noch ein wesentliches Problem ungelöst. Wir wollen der Deutlichkeit halber ein kleines Beispiel betrachten. Wir wollen würfeln mit zwei Würfeln, und es möge sich dabei empirisch ergeben, daß im Mittel eine 1 mit einer 3 ebenso häufig oben ist wie eine 4 mit einer 5 und doppelt so häufig wie zwei Zweien usw. Wenn wir nun eine Theorie hätten, die in irgendeiner ganz verwickelten und abstrakten Weise diese empirischen Tatsachen vorauszuberechnen erlaubte, dann könnten wir ja vielleicht zufrieden sein. Aber in Wirklichkeit sind wir doch erst dann zufrieden, wenn wir die Theorie in folgende Form gebracht haben: Wir sagen, für einen der Würfel

ist jede seiner 6 Lagen gleichwahrscheinlich; und die beiden Würfel sind voneinander statistisch unabhängig. Nur wenn wir die Sache so ansehen, glauben wir, daß wir sie wirklich verstanden haben.

Nun ist es bei den zwei Würfeln freilich so, daß man von vornherein gar nicht darauf kommt, die Theorie anders zu machen, als eben geschildert wurde. Aber in der Quantenmechanik ist es anders: In der Quantenmechanik können wir gegenwärtig alle Wahrscheinlichkeiten berechnen; aber wir können sie noch nicht verstehen! Wir würden erst dann behaupten können, sie verstanden zu haben, wenn wir die mathematischen Rechnungen, die im abstrakten Koordinatenraum ausgeführt werden, folgendermaßen deuten könnten: In gewissen Fällen gibt es keine Vorschrift für das, was die Natur tut; sie kann das eine oder das andere tun, beides ist gleichwahrscheinlich. Und die Entscheidung, welche die Natur in einem solchen Falle trifft, ist völlig unabhängig von den Entscheidungen, die sie in anderen Fällen getroffen hat.

Mit anderen Worten gesagt: Wir müssen die Wahrscheinlichkeiten, die uns von der Quantenmechanik quantitativ geliefert werden, zurückführen auf unabhängige Elementarwahrscheinlichkeiten. Erst dann werden wir behaupten können, diese Gesetze wirklich verstanden zu haben; erst dann werden wir entscheiden können, unter welchen Bedingungen und in welcher Weise der Zeitmoment eines Quantensprunges determiniert und wann er nicht determiniert ist. Erst dann werden wir genau übersehen, was im physikalischen Geschehen kausal bestimmt, und was dem Zufall überlassen ist.

Zum Schluß möge nun aber noch ein Umstand besonders hervorgehoben werden. Wir haben es soeben als schon gesichert betrachtet, daß die noch durchzuführende Elementaranalyse der quantenmechanischen Wahrscheinlichkeitsgesetze zu dem Ergebnis führen müßte, daß gewisse Elementarprozesse undeterminiert seien und jeweils gleichwahrscheinlich in verschiedener Art stattfinden könnten. Aber das ist in Wahrheit noch durchaus keine Selbstverständlichkeit. Der Umstand, daß die Gesetze der Quantenmechanik Mittelwertsgesetze sind und nur unter Vermittlung statistischer Begriffe auf die Elementarprozesse angewandt werden können, liefert an sich noch keinen zwingenden Grund dafür, daß auch die Elementargesetze Wahrscheinlichkeitsgesetze sein müßten.

Wir können also unsere Frage, ob die heutige Physik den Determinismus anerkennt — eine Frage, von der wir gesehen haben, daß sie bei näherer Betrachtung in mehrere verschiedene Fragen aufzulösen ist — zum letzten Male jetzt in folgender Form stellen: Werden die gesuchten Elementargesetze Wahrscheinlichkeitsgesetze oder determinierende Gesetze sein? Wird es überhaupt vorkommen, daß der Zeitmoment eines einzelnen Quantensprunges undeterminiert ist?

Vermutlich wird es wohl so sein, daß in der Tat unvollständige Determinierungen, also reine Wahrscheinlichkeiten in den physikalischen Elementargesetzen stecken. Aber, wie gesagt, eine zuverlässige Entscheidung wird erst nach einer weiteren Analyse der Quantenmechanik in der von BORN und PAULI gewiesenen Richtung möglich sein. Und vielleicht darf ich zum Schluß noch erwähnen, daß diesbezügliche Überlegungen in allerletzter Zeit in Kopenhagen und hier in Göttingen in, wie ich glaube, aussichtsreicher Weise weitergeführt werden konnten.

Der Baikalsee.

Eine geographische Zusammenfassung.

Von P. FICKELER, München.

(Schluß.)

II. Biogeographie.

Die eigentümlichen physischen Verhältnisse des Baikal begünstigen eine interessante *Lebewelt*, die durch ihre Eigenart und besonders ihre Herkunft sowohl Biologen wie Geologen und Geographen gleichmäßig fesselte.

Unter den Pflanzen tragen die *Algen* ein durchaus eigenartiges Gepräge. Allein unter den *Grünalgen* wurden fünf neue endemische (einheimische) Arten festgestellt, die durch *Gigantismus* (Riesenwuchs) bis zur doppelten Körpergröße der normalen auffallen. Am häufigsten kommt letzterer bei den *Kieselalgen* (Diatomeen) vor, deren große Artenzahl und Häufigkeit — 87% der Gesamtflora — eine Eigentümlichkeit des Sees bildet und wahrscheinlich durch die tiefen Wassertemperaturen begünstigt wird. Wie schon erwähnt, setzen diese besonders den Boden des Seegrundes zusammen. In der Region der seichten Uferbank, wo selbst im Juni/Juli nur 6—7° C herrschen, lassen sich *drei biologische Zonen* deutlich unterscheiden: 1. die *Ulotrix-Zone* bis zu 1 m Tiefe mit Ulotrix zonata, einer der häufigsten fadenförmigen Grünalgen, die alle Steine bedeckt. Daran schließt sich 2. die *Diatomeen-Zone* bis zu 2,5 m Tiefe und 3. die *Draparnaldia-Zone* von 2,5 bis etwa 20 m Tiefe, wo die strauchartigen Algen Draparnaldia baicalensis und D. simplex in ganzen Dickichten wuchern.

Nach JASCHNOW ist der Baikal, wohl infolge seiner tiefen Temperaturen, einer der *planktonärmsten Seen der Welt*. Nur die Alge Melosira islandica und der Ruderfüßler Epischura baicalensis herrschen hauptsächlich in der pelagischen Region. Das Plankton beginnt erst im Juni zu erscheinen im Zusammenhang mit der genannten thermischen Ausgleichung und Umkehr des Wassers zur direkten

Wärmeschichtung. Hierbei verursacht das massenhafte Auftreten der Alge Microcystis olivacea Ktz. das sog. *Blühen des Sees* d. h. in einzelnen Jahren überziehen sich im Juni und Juli weite Teile der Wasseroberfläche, besonders an der Ostküste, mit einem trüben *Grüngelb*, wobei das Wasser einen schlechten Geschmack bekommt.

Das offene reine Wasser des Baikal mit seinen niedrigen Temperaturen ist fast ganz frei von *Protozoen* (Urtieren). Von den 57 gefundenen Arten (in 33 Gattungen), unter denen keine einzige neue oder sonstwie bemerkenswerte Form auffällt, leben die meisten in der Nähe des wärmeren Ufers und in erster Linie in den geschützten Buchten. In den warmen und an gelösten organischen Stoffen reichen „Soren" erreicht die Protozoenentwicklung ihren Höhepunkt.

Von den 10 Arten von *Schwämmen* (Coelenterata) sind fast alle *typische Süßwasserformen*, und zwar zu 75% *endemische*. Ihr Hauptstandort ist die nächste Uferzone, wo sie die Steine überziehen.

Vom Stamme der *Würmer* sind am besten die *Planarien* untersucht, von denen KOROTNEW zwei Familien und 10 Gattungen mit 78 Arten unterscheidet, die *sämtlich nur im Baikal vorkommende endemische Süßwasserformen* darstellen. Wie die meisten Baikaltiergruppen erscheinen diese in *zwei biologischen Typen:* als *Seichtwasser-* und *Tiefseeformen*, letztere nicht selten mit ausgesprochenem *Tiefseecharakter*. So sind die Vertreter der *Cotylidae* an der vorderen Hälfte ihres Körpers mit 1 bis 200 Saugnäpfen bewaffnet und besitzen mehrere Augen, die aber meist *blind* sind. Je tiefer sie vorkommen, desto blasser wird ihre Körperfarbe, bis zur völligen Farblosigkeit. Zugleich nimmt ihr Körper bis zur fünffachen Größe der normalen zu. Die Seichtwassertypen sind dagegen stets kleiner, schön pigmentiert und haben zahlreiche wohlausgebildete Augen.

Im Baikal sind die *Oligochaeten* — typische Süßwasserbewohner — in ungewöhnlich großer Zahl und auffälligem endemischen Formenreichtum vertreten. Allein die Familie der *Lumbriculidae*, auf die selbst ein geringer Salzgehalt tödlich wirkt, herrscht im Baikal mit mehr Arten als in Europa und Nordamerika zusammengenommen. Neben dem geologischen Befund, liefern diese auch den *biologischen Beweis*, daß der *Baikal niemals direkte Verbindung mit dem Meere besaß*.

In bezug auf den Artenreichtum der *Weichtierfauna* (Mollusken) kann, nach ihrem besten Kenner LINDHOLM, *kein zweiter Süßwassersee der Paläarktischen Region mit dem Baikal in Wettbewerb treten*. Die 15 Vertreter der Muscheln scheinen nicht unter 60 m Tiefe zu leben. Von 74 Schneckenarten sind rund 90% endemisch. Die gesamte Molluskenfauna trägt keinerlei marinen Charakter; im Gegenteil, ihre Beziehungen zu jungtertiären Süßwasserablagerungen deuten nach LINDHOLM auf ein *Ursüßwasserbecken von hohem Alter*. Eine besondere Eigentümlichkeit der Baikalmollusken ist die auffallende *Dünnschaligkeit* ihrer Gehäuse die sicherlich in der angeführten Kalkarmut des Baikalwassers begründet liegt. Auch das häufige Auftreten einer sog. *Behaarung* der Gehäuse, die bei Süßwasserschnecken selten und meist nur im Jugendstadium auftritt, ist für die Baicaliaarten bezeichnend und deutet, nach der biogenetischen Regel, ebenfalls auf einen *altertümlichen* Charakter.

Im Gegensatz zu den niederen Krebstieren bieten die baikalischen *höheren Krebstiere* (Malacostraca) ein ungewöhnlich interessantes Bild. Wieder weisen hier, bei einer allgemeinen Armut an größeren Gruppen, einzelne unter ihnen einen ungeheuren und differenzierten Artenreichtum auf. *Mindestens die Hälfte aller auf der Erde bekannten Gammariden*, einer Familie aus der Ordnung der Flohkrebse, sind *nur für den Baikal spezifisch*. Außer ihrem Formenreichtum ist auch ihre absolute Zahl und Größe von Interesse. Einzelne Arten, wie z. B. Brachyurops grewenki, werden bis zu 9 cm lang. Andere wieder treten in solchen Unmassen auf, daß sie stellenweise von der Bevölkerung fuhrenweise als sog. *Barmaschi* gefangen werden.

Die *Fische* des Baikal wurden in neuerer Zeit vornehmlich von L. S. BERG bearbeitet, der 32 Arten und 25 Gattungen in 10 Familien unterscheidet. Rund 50% aller Fische sind endemisch. Besondere tiergeographische Schlüsse lassen sich hieraus allerdings nicht ziehen; höchstens zeigen sie, daß *manche über Europa und Nordasien verbreiteten Arten ihre östliche Verbreitungsgrenze im Baikalsee finden*. Ihr interessantester Vertreter ist der lebendgebärende *Ölfisch* (Comephorus baicalensis), der einzige Repräsentant seiner Familie, den die Ortsbevölkerung *Golomianka* nennt. Der 30 cm lange Fisch lebt in etwa 700 m Tiefe. Infolge dieser Anpassung an das Tiefenleben bildete sich seine Knochensubstanz derart zurück, daß das ganze Skelett sich papierartig weich anfühlt. Auch die Stacheln der Flossen verkümmerten und die Bauchflossen verschwanden. Die kräftigen Brustflossen dagegen ziehen von den Kiemen bis zum Schwanz. Auffallend vergrößerte Augen glotzen aus dem schuppenlosen gelblichfarblosen und hellrosa durchscheinenden Körper, der infolge seines *ungeheuren Fettreichtums* butterweich ist. In einzelnen Jahren sollen, nach GEORGI, die bei heftigen Stürmen auf den Strand geworfenen Leichen der Golomianka ganze Wälle bilden, die die Luft verpesten und zur Ölgewinnung dienen. Die Baikal-Cataphracti, die durch hervortretende Schädelränder hinter den Augen und mehrfache Seitenlinien ein gewisses *Meeresgepräge* tragen, sind die tiefstvorkommenden sämtlicher bisher bekannter Süßwasserfische. Ihre Ähnlichkeit mit den Meeres-Cataphracti, die in Tiefen bis zu 1700 m hausen, ist als *Konvergenzerscheinung* zu deuten. Die endemischen Baikalfische sind aber nicht mit jetzt lebenden Meeresfischen in Verbindung zu bringen, sondern als *im Baikalsee selbst differenzierte* Formen aufzufassen. Die Eigenart der Fischfauna ist so groß, daß nach

L. S. BERG der Baikalsee als eine *besondere zoogeographische Einheit*, als *Subregio baicalensis*, der holarktischen Region betrachtet werden muß.

Von den *Säugetieren* erregte das Vorkommen der *Robbe* im Baikal schon bei den ersten Entdeckern des Sees im 17. Jahrhundert Aufmerksamkeit. Durch eingehende Schädelstudien stellte NORDQUIST (1899) ihre Zugehörigkeit zu *Eismeerrobbe* (Phoca foetida) in subspezifischer Abhängigkeit fest. Die Baikalrobbe trägt ein silbergraues Fell, ohne die üblichen Ringelflecken der Seehunde, und besitzt unverhältnismäßig große Augen. In Eurasien leben Robben noch in anderen Seen, wie z. B. im Ladoga-See und im Kaspi. Da es für die Robbe als *Lungenatmer* ganz gleichgültig ist, ob sie sich in salzhaltigem oder süßem Wasser bewegt, so ist ihr Vorkommen im Baikal nicht weiter erstaunlich. In der Selengá steigt sie bis Selenginsk hinauf und in der Unteren Angara bis zum Orte Olonki hinab. Ihre häufigen weiten Wanderungen aus dem Meere die großen Ströme aufwärts machen es sehr wahrscheinlich, daß die Robbe, besonders zur Zeit des weiter südwärts dringenden Eismeeres (boreale Transgression), durch den bedeutend wasserreicheren und breiteren Jenissei und die Untere Angara in den Baikal gelangte, in diesem kühlen, meerähnlichen und fischreichen See sich einbürgerte und mit der Zeit zur Unterart sich differenzierte. Nach WITKOWSKI sammeln sich die Baikalrobben im Sommer zu Tausenden in der Gegend des Kap Kolokoljni am Westufer, in der Südostecke des Sees und an den Uschkanjiinseln sowie bei Swatoi Noss, wo sie herdenweise bis in den August-September sich herumtreiben. Die Weibchen werfen im Februar-März auf dem Eise in besonderen Höhlen unter dem Schnee meist zwei 70 cm große Junge.

Über die *Entstehung* der merkwürdigen Fauna des Baikalsees wurden schon die allerverschiedensten Hypothesen aufgestellt. Nach ihrer Grundauffassung lassen sie sich in *drei Hypothesengruppen* trennen. Nach der *ersten Gruppe* beherbergt der Baikal eine Reliktenfauna des *Eismeers*. ALEXANDER v. HUMBOLDT („Kosmos" 1858) wies auf Grund des Vorkommens der Seehunde im Kaspi und im Baikal auf die marine Natur der letzteren hin. Diesen Gedanken griff O. PESCHEL (1867) auf und bezeichnete den Baikal als „alten Küstenfjord" des Eismeers, das sich in tertiärer Zeit bis zum Altai und Kaspi erstreckt haben sollte. Die gleiche Ansicht vertrat auch OCHSENIUS (1901).

Die *zweite Gruppe* von Forschern, wie z. B. HOERNES (1897) und ARLDT (1906), hielt zwar auch an dem marinen Ursprung der Baikalfauna fest; nur ließen sie sie nicht aus dem Eismeer, sondern aus einem hypothetischen pontisch-sarmatischen *innerasiatischen* Meer einwandern. Seit ED. SUESS 1901 den *festländischen* Charakter der mongolischen Hanhai-Ablagerungen nachwies, sind diese Ansichten nunmehr hinfällig. Die späteren Untersuchungen zeigten überdies, daß die sarmatischen Meeresablagerungen ihre östlichste Grenze am Westufer des Aralsees finden.

Die *dritte* Gruppe von Hypothesen wird durch TSCHERSKI (1877) eingeleitet, der geologisch die Unmöglichkeit eines Meereszusammenhanges mit dem Baikal seit der Silurzeit nachwies. Das Vorkommen der Seehunde erklärte er durch Einwanderung während der Eiszeit. ANDRUSSOW (1902) betonte das hohe Alter des Sees, wodurch einerseits eine ausgesprochene Eigenbildung und Differenzierung der Fauna zustande kam und andererseits auch die Einwanderung neuer Elemente aus anderen tiergeographischen Provinzen möglich war. Die Formen mit marinem Habitus deutete er als Konvergenzerscheinung infolge der meerähnlichen Lebensverhältnisse. Dieselbe Anschauung vertritt auch MICHAELSEN (1902 und 1905) unter besonderer Betonung des Reichtums des Sees an stammesgeschichtlich alten Formen. Er prägte auch das oft angeführte Schlagwort vom *zoologisch-paläontologischen Museum*, das der Baikal repräsentiere, in dem die Tierformen der Jetztzeit mit denen der verschiedensten vergangenen Erdperioden nebeneinander aufbewahrt sind. Dem russischen Forscher L. S. BERG, Leningrad, gebührt das Verdienst, im Jahre 1910 (1925), den Ursprung der Baikalfauna, bzw. eines großen Teiles derselben, von einer *obertertiären subtropischen Süßwasserfauna Nordasiens und möglicherweise der anliegenden Teile von Zentralasien* nachgewiesen zu haben.

Auf Grund der gesamten bisherigen Forschungsergebnisse lassen sich die Beziehungen der Lebewelt des Baikal zu den physischen Bedingungen ihres Lebensraumes nach H. JOHANSEN in folgende Hauptpunkte zusammenfassen:

I. Die *geologische Entstehungsgeschichte* ließ erkennen:

1. Der Baikal bestand mit Sicherheit im *Miocän*. Daher ist ein großer Teil seiner Tierwelt phylogenetisch sehr alt und stellt ein *Relikt* einer weit verbreiteten neogenen Süßwasserfauna dar.

2. Durch die junge Hebung des alten Scheitels und das Aufsteigen der Horste wurde die *Gebirgsumrandung* geschaffen. Dieser langanhaltenden *Isolierung* verdankt die Tierwelt des Sees ihre Eigenart.

3. Die jugendliche Gestalt des Sees ist durch den erneuten *tiefen Einbruch vor der Eiszeit* im Quartär bedingt. Dadurch konnten sich viele *altertümliche Tierarten* erhalten. Die Tiefseeformen haben sich wahrscheinlich erst sekundär an die Tiefen angepaßt.

4. Die boreale Meerestrangression reichte in der Wiljuibai bis 62° N und fällt zeitlich mit der Eiszeit zusammen. Durch die breiten Urströme war daher den Eismeertieren weitgehende Einwanderungsmöglichkeit gegeben.

II. Die *Morphologie des Seebeckens* zeigte:

5. Eine scharfe Trennung der seichteren *Küstenregion* und der *Tiefen*region. Daraus folgt der

Gegensatz der quantitativ reicheren *Uferfauna* gegenüber der eigentümlicheren *Tiefenfauna*.

6. Die Tiefenregion reicht bis über 1500 m hinab. Dadurch sind die *Konvergenzerscheinungen* zu marinen Tierformen hervorgerufen.

7. Durch die großen *Zuflüsse* mit ihren Aufschüttungen wird die Morphologie des Beckens verändert. In den Mündungsgebieten der Zuflüsse weist auch die Tierwelt habituelle Veränderungen auf.

III. Das *Baikalwasser* ist:

8. Relativ arm an Kalksalzen. Deshalb zeichnen sich die Gehäuse der Baikal-Gastropoden durch auffällige *Dünnschaligkeit* aus.

9. Nur geringe Mengen an mineralischen und organischen Bestandteilen sind vorhanden. Daher ist die pelagische Region fast protozoenfrei und planktonarm.

10. Die Temperatur der tieferen Regionen ist sehr *gleichmäßig*. Dadurch konnten sich *alte Tierformen* unverändert erhalten (Oligochäten) und gegen Temperaturschwankungen besonders empfindliche Ordnungen (Planarien) zur *blühendsten Entwicklung* gelangen.

11. Die Temperatur im ganzen Seebecken ist durchweg sehr niedrig. Dieses hatte augenscheinlich *Riesenwuchs* vieler Tier- und Algenformen zur Folge.

12. Durch die zentrale Lage des Baikal als Zwischenstation der mongolischen Selenga und der zum Eismeer fließenden Unteren Angara, an einer wichtigen *Vogelzugstraße* ist die häufige Möglichkeit *passiver Tiereinwanderung* sowohl von Süden als auch von Norden gegeben.

III. Anthropogeographie.

Der Baikal bildet nicht allein eine physio- und biogeographische Besonderheit und Einheit, sondern prägt zusammen mit seiner Umgebung auch der *Wirtschaft*, *Siedlung* und dem *Verkehr des Menschen* seinen Stempel auf.

Wirtschaft.

Da die *umgebenden Berge* des Baikal größtenteils mit dichtem *Nadelurwald* aus Lärchen, Tannen und Zirbelkiefern bedeckt sind, so bieten diese den Anwohnern des Sees, genau wie die übrige Taiga Sibiriens, Gelegenheit zur Jagd auf Hasen, Eichhörnchen, Murmeltiere, Wildziegen, Wildschweine und besonders auf den *Zobel*, dessen Fell sehr hoch im Werte steht. Dieser Wildreichtum zieht wieder eine Anzahl größerer Raubtiere wie Bären, Wölfe, Füchse und andere nach sich, die die Pelztierjagd noch lohnender machen. Dazu kommt noch das Sammeln von Zirbelkiefernüssen.

Im *See selbst* und an dessen *Ufern* wird die erwähnte *Baikalrobbe*, die *Nerpa*, besonders von den Burjäten gejagt. Letztere schießen sie das ganze Jahr, hauptsächlich aber im Frühjahr und Winter, wenn die Wassersäuger auf das Eis kriechen, um sich zu sonnen. Hierbei befestigen die Jäger in geschickter Weise auf ihren Schlitten ein Segel und rücken unter dessen Schutz bis auf Flintenschußnähe an die Robben heran, die das Segel für eine jener oben beschriebenen vertikal stehenden Eisschollen der „Torossá" halten. Die geeignetste Zeit für die Robbenjagd ist der *April*. Im Winter sind sie, nach den Beobachtungen DRISHENKOS, an den offenen Stellen anzutreffen, während sie im Frühling oft in solchen Scharen auf den driftenden Eisschollen sitzen, daß diese schwarz erscheinen.

Die *Grundlage* der gesamten Wirtschaft des Baikalgebietes bildet aber der *Fischfang*. Denn der Baikal besitzt einen großen Reichtum an verschiedenen Fischarten, von denen die folgenden sechs: *Baikalrenke* oder *Omulj* (Coregonus migratorius [GEORGI]), *Baikaläsche* oder *Charius* (Thymallus arcticus baicalensis Dyb.), *Renke* oder *Sig* (Coregonus lavaretus pidschian natio baicalensis Dyb.) *Lenok* (Brachymystax lenok [Pall.]), *Sibirischer Huchen* oder *Taimen* (Hucho taimen [Pall.]), und der *Sibirische Stör* (Accipenser baeri Br.) im See selbst und in den Zuflüssen gefangen werden. Dagegen werden die fünf folgenden: *Plötze* oder *Soroga*, *Tschebak* (Rutilus rutilus lacustris [Pall.]), *Hecht* (Esox lucius L.), *Barsch* (Perca fluviatilis L.), *Aland* (Leuciscus idus L.), *Karausche* (Carassius carassius [L.]) und *Quappe* (Lota lota [L.]) fast ausschließlich in den „Soren" gefangen.

Der *Störfang* beginnt Anfang April, wenn der Baikal noch mit Eis bedeckt ist, meist in der Nähe der Selengamündung. Nächst den Stören spielt die Hauptrolle die *Baikaläsche* oder „Charius", die in allen Baikalzuflüssen gefangen wird, und ganz besonders die *Baikalrenke* oder *Omulj*, die als hauptsächlichste lokale Marktfische für den Sibiriaken weit wichtiger sind als im europäischen Rußland der Hering. Den ganzen Winter über hält sich der Omulj in großen, weil relativ wärmeren, Tiefen des Sees auf, nähert sich erst zu Beginn des Frühjahres den Ufern und dringt in die kleineren Buchten, wo er im Sommer vom Juli ab gefangen wird. Im *August* (Selenga) und *September* (Obere Angara) zieht der Omulj zum Laichen in dichten Scharen in die Mündungen der größeren Zuflüsse, oft, wie in der Oberen Angara, bis zu 100 km flußaufwärts. In dieser Zeit geschieht der „Wanderungsfang". Der noch im Herbst zurückkehrende Omulj wird dann nochmals in großen Mengen erbeutet. Erst wenn der See sich mit einer tragfähigen Eisdecke überzogen hat, beginnt der *Fang unter der Eisdecke* mit starken Netzen, die durch Eislöcher in Tiefen von 200 bis 300 m und mehr hinabgelassen werden, da der Omulj seiner Nahrung, dem Plankton bis in diese Tiefen, die ja zu dieser Zeit die relativ wärmsten des ganzen Sees sind, nachfolgt. Der Omulj des *Winterfanges* kommt in *gefrorenem* Zustande auf die Märkte, der des *Sommer-* und *Herbst*fanges dagegen in *gesalzenem*. Der Herbstfisch, besonders aus der Selenga, gilt als schmack-

hafter. Auf diese Weise kann der Omulj das ganze Jahr über gefangen werden, meistens in großen Fischnetzen. Dies üben vielfach kleinere Genossenschaften aus. Über den Umfang des gesamten baikalischen Fischfanges liegen keine statistischen Angaben vor. Im Jahre 1896 wurden allein 8 200 000 kg Omulj gefangen.

Siedlung.

Die Ufer des Baikal werden von *Russen* sowie eingeborenen Burjäten und Tungusen bewohnt. Die Verteilung und Dichte der *Besiedlung* wird in erster Linie von *Wirtschaft* und *Verkehr* bestimmt. Die alte Poststraße zwischen Irkutsk und Werchne-Udinsk, also zwischen Mittelsibirien und Ostsibirien, die von dem Ausfluß der Unteren Angara bis zum Selengadelta um das Südende des Baikal herumführt, ließ dort eine Reihe von Siedlungen entstehen, deren Wachstum durch die heutige transsibirische Umgehungsbahn noch gehoben wurde. In allen diesen Orten gewährt sowohl örtlicher Fischfang und Jagd als auch die Beschäftigung im Verkehrswesen, früher besonders im Fuhrwesen, heute im Eisenbahndienst, den Lebensunterhalt. So entstand am Ausfluß der Unteren Angara als dem natürlichen Mündungstrichter des baikalischen Schiffsverkehrs und Anschlußpunkt an den mittelsibirischen Hauptlandverkehrsweg das Kirchdorf *Listwenitschnoe*, dessen Holzhäuser sich 5 km am Ufer entlang ziehen. Seine 600 Einwohner sind in den Reedereien und Schiffahrtdienst sowie im Fischerei-, Handels- und Fuhrbetrieb tätig. In seiner Nähe entstand die Eisenbahnstation *Baikal*, von der aus früher die Eisenbahnfähre nach dem gegenüberliegenden Ort Myssowsk übersetzte. Am äußersten Südwestwinkel des Sees erhebt sich mit 100 Holzhäusern *Kultuk*, dessen Bewohner sich außerdem noch von Landwirtschaft und Sammeln von Zirbelkiefernüssen ernähren. Kultuk wurde berühmt als Aufenthaltsort vieler berühmter verbannter russischer Gelehrter des zaristischen Rußlands. Am früheren Endpunkt der Trajektdampferlinie liegt die Bahnstation *Myssowsk* mit Lagerhäusern, Kirche, Lazarett, Regierungsgebäuden und Schulen.

Aus der Reihe der weiter nördlich gelegenen Siedlungen des Ostufers sei hier das Dord *Gorjatschinskoe* hervorgehoben, bei dem die *Mineralquellen von Turka* einen Kurort entstehen ließen, der von der Kaiserin Jekaterina II. gegründet wurde und ein Krankenhaus mit Wannenbädern unter ständiger Leitung eines Kurarztes besitzt. An der Mündung des Bargusinflusses ließ der Verkehr das kleine Kirchdorf *Ust-Bargusin* mit 25 Häusern mit Fähren- und Poststation entstehen. Der Ort bildet sozusagen den Vorhafen zu der 40 km von der Mündung talaufwärts gelegenen *Stadt Bargusin*, die 1000 Seelen zählt. Ust-Bargusin ist der letzte Siedlungsvorposten am Ostufer des Baikal; denn die ganze übrige Strecke nordwärts bis zur Mündung der Oberen Angara wird nur zeitweise, von Frühjahr bis Herbst, von Fischern bewohnt, besonders die Tschiwyrkui-Bai und Sosnowka-Bucht, wo eine Kapelle steht. Nördlich von letzterer besuchen das Ufer häufig nomadisierende *Tungusen* mit *Renntierherden*.

Am Nordende des Baikal beleben sich die Siedlungen an dem Dagary- und Duschkatschanmündungsarm der Oberen Angara ebenfalls überwiegend vom Frühling bis zum Herbst zur Zeit des *Fischfanges* und des *Zobelfellmarktes*. Im Winter verbleiben in *Dagary*, das Kirche und Lazarett besitzt, nur zwei bis drei Familien und der Wächter der Gebäude der Kaufleute. Die Siedlung *Duschkatschan* mit 20 Höfen, Kirche und Schule wird auch im Winter durch den Pelzmarkt belebt, wohin die Kaufleute aus Bargusin reisen.

Da das *Westufer* in seinem nördlichen Teile relativ kurz und steil abfällt und infolgedessen nur kleinere Bäche entwickeln kann, so begünstigt es nicht die Siedlungen. Dort ist daher auch eine Strecke von 210 km, mit Ausnahme der Dörfer *Letniki* und *Goremyki*, die von Landwirtschaft und Zobel- und Fischfang treibenden Russen bewohnt sind, sowie des Leuchtturmes Kotelnikowski, bis zum Kap Pokoiniki *völlig unbesiedelt*. Hier beginnen die Nomadensiedlungen der *Burjäten*, die bis zum Buguldeikaflüßchen das Baikalufer auf eine Erstreckung von 225 km, ebenso wie die Insel Oljchon, ausschließlich bewohnen. Da die Insel Oljchon fast waldlos ist und nur wenig Niederschläge empfängt, so vermag sie nur wenige Menschen, hauptsächlich durch Fisch- und Seehundfang zu ernähren. Die heutigen Burjäten treiben zum Teil Ackerbau mit *künstlicher Bewässerung*, wofür sie abgedämmte Schmelzwasser des Schnees verwerten müssen. Diese Technik brachten sie wahrscheinlich aus ihrer ehemaligen *zentralasiatischen Heimat* mit. Sie wird besonders von den *ansässigen* Burjäten ausgeübt, die das griechisch-orthodoxe Christentum annahmen, russische Frauen heirateten und sich in besonderen Siedlungen absonderten. Die übrige Burjätenbevölkerung lebt nomadisch in besonderen Siedlungen, den sog. *Ulus*, wobei die meisten außer Winterlagern noch Sommerlager besitzen. Einige beziehen noch besondere Herbstlager. Ihre herrschende Religionsform ist der Schamanismus. Die Gesamtzahl der Burjäten am westlichen Ufer des Baikal beträgt 5—6000.

Rund 70 km von der Buguldeika nach Süden bewohnen 100 Familien das Kirchdorf *Goloustnoe*.

Im ganzen steht also einer schwach besiedelten größeren *Südhälfte* eine kleinere, mit Ausnahme des äußersten Norden, fast völlig unbesiedelte *Nordhälfte* des Sees gegenüber, die ungefähr vom 54.° N getrennt werden. Die relativ größten Siedlungen liegen am Ausfluß der Unteren Angara und Einmündung der größeren Flüsse wie Selenga, Turka, Bargusin und Oberen Angara, weil in diesen nicht allein die flußaufwärts ziehenden laichenden Baikalfische den Fischereibetrieb konzentrieren, sondern diese als schiffbare Wasserstraßen zugleich ihr gesamtes Einzugsgebiet wirt-

schaftlich aufschließen. So kann man die Siedlungen am Baikalsee halb als *Wirtschafts-* und zur anderen Hälfte als *Verkehrssiedlungen* ansprechen.

Verkehr.

Die Verteilung und Intensität von Wirtschaft und Siedlung der Baikalumgebung erzeugt aber ein Spannungsfeld, dessen Kräfte sich im *Verkehr* ausgleichen. Abgesehen vom Fisch- und Robbenfang auf dem offenen Wasser, verbindet der Verkehr hauptsächlich die verschiedenen Ufer des Sees, wo er sich entweder in die Flüsse als *Flußverkehr* weit landeinwärts fortsetzt bzw. an die vorhandenen Landverkehrswege anschließt. Im folgenden sollen daher zunächst die natürlichen Wasserstraßen, also der mehr lokale Schiffsverkehr auf der *Seefläche* selbst als *Seeverkehr*, darauf seine erweiterte Fortsetzung auf den Zuflüssen, der linienhafte *Flußverkehr* und schließlich der an beiden anschließende *Landverkehr*, sowohl als *Umgebungs-* wie *Fernverkehr*, kurz charakterisiert werden.

Seeverkehr.

Die *Schiffahrt* auf dem Baikal begann mit der Entdeckung des Sees im Jahre 1643 und diente in den ersten 7 Jahren nur gelegentlich zu Kriegszügen und Tributeintreibungen. Eine ständige Schiffahrt zu diplomatischen und administrativen Zwecken erfolgte vom Jahre 1650 ab. Erst 100 Jahre später, 1728, fuhren ständig *staatliche Postschiffe* unter militärischem Befehl. Von 1839 ab wurde die Schiffahrt auf dem Baikal von einzelnen Schiffseigentümern übernommen, da einerseits der Staatsbetrieb zu kostspielig wurde und andererseits der *Fischereibetrieb*, der 1725 an den Flußmündungen der Selenga und Oberen Angara begann, einen gewaltigen Aufschwung nahm. Der Schiffsbau wurde von seekundigen Fachleuten aus Archangelsk und den Ufergebieten der Wolga im Baikalgebiet eingeführt. Das *erste Dampfschiff* zerschnitt schon im Jahre 1844 die Fluten des Sees. Später übernahmen einige private Gesellschaften den Passagier- und Postverkehr, der schließlich vom Staate subventioniert wurde. Im Jahre 1914 bestand ein kräftiger Schiffsverkehr auf dem Baikal mit 7 Seedampfern, 6 Flußdampfern, 4 See-Segelschiffen und 14 Flußsegelschiffen, der heute aber sehr darnieder liegt.

Völlig abgeschlossene *Ankerplätze* gibt es am Baikal infolge der oben betonten geringen Gliederung der Uferlinie, nur wenig. Gute Häfen bieten Listwenitschnoe, Myssowsk, Klujewsk und einige geschützte Buchten.

Die Schiffahrt verbindet den Ort *Listwenitschnoe* mit allen bewohnten Punkten am Baikal. Die wichtigste Schiffahrtslinie überquert das Südende des Baikal von Westen nach Osten und verbindet einerseits die Mündungen der *Unteren Angara* und der *Selenga* als auch *Listwenitschnoe* mit *Myssowsk*, d. h. die Stellen, an denen der sibirische Handelstrakt von beiden Seiten her zum erstenmal den See berührt. Zur Zeit des Trajektverkehrs hatte letztere noch größere Bedeutung. Der oben beschriebene Fischereibetrieb in der Oberen Angara und Pelzhandel am *Nordende* des Sees üben eine solche Anziehungskraft auf den Schiffsverkehr aus, daß diese *nordsüdliche* Schiffahrtslinie entlang der Längsachse des Baikal an Bedeutung gleich hinter den erstgenannten steht. Auf dieser Linie laufen die Dampfer bei Goloustnoe — Pestschanaja Buchta — Kobylja Golowa — Turka — Ust Bargusin — Üschkanji Inseln — Tschiwyrkui Bai — Sosnowka-Bucht — Kotelnikowski — Goremyki hauptsächlich aus Fischereizwecken an und durchfahren die Gesamtstrecke Listwenitschnoe — Duschkatschan in rund *11 Tagen*.

Wie wir oben sahen, friert der Baikal im Nordteil erst Anfang Januar, im Süd- und Mittelbecken dagegen erst Mitte Januar endgültig zu und geht im Nordteil Ende Mai und in den anderen Teilen schon Mitte Mai wieder auf. Daher dauert die *Schiffahrt* von *Mitte Mai bis Mitte November*, also volle *sechs Monate* und somit viel länger als auf den sibirischen Strömen. Da in der Oberen Angara der Hauptfischfang im Herbst geschieht, so ist die Schiffahrtslinie zum Nordende des Baikal in der zweiten Hälfte der Schiffahrtszeit, von August bis September, am lebhaftesten. Die *Eisbrecher* beginnen ihre Arbeit schon *Ende April* oder Anfang Mai, wenn das winterliche Reisen im Schlitten auf dem Eise schon gefährlich wird und die Dampfer andererseits noch nicht fahren können. Außerdem arbeiten sie *bis Dezember*, solange die Eisdecke noch nicht geschlossen ist und noch nicht trägt (s. S. 85). Am geeignetsten für die Schiffahrt ist die Zeit des sommerlichen lokalen Luftdruckmaximums von Anfang Juni bis Mitte August, wo die vielen Windstillen oder zentrifugal ausströmenden Winde mit ihrem stetigeren Charakter nicht stören. Wegen der heftigen Stürme (s. S. 86) fahren im *Herbst* die Schiffe westlich der Insel Oljchon durch das geschütztere „Kleine Meer". Der winterliche Schlittenverkehr auf dem Eise wird durch die oben geschilderten Erscheinungen der Eistektonik oft erheblich gestört.

Zur *Orientierung* des Schiffsverkehrs während der *Nacht* dienten vor dem Kriege *zehn Leuchttürme* von meist 19 m Höhe, die in einfacher Weise meist aus Holz konstruiert sind und die den Aussichtstürmen in den deutschen Mittelgebirgen sehr ähneln. Sie wurden von einem Wächter ständig bedient und leuchteten von Anbruch bis zum Ende der Dunkelheit mit weißem oder abwechselnd weißem und roten Blinkfeuer an folgenden wichtigen Punkten (s. Karte): 1. *Charaus* (19 m, 17 km, w, r), 2. *Turka* (310 m, 68 km, w), 3. *Gorjatschinskoe* (19 m, 17 km, w), 4. *Uschkanij-Insel* (235 m, 60 km, w), 5. *Dagary* (19 m, 17 km, w), 6. *Duschkatschan* (19 m, 17 km, w, r), 7. *Kotelnikowski* (160 m, 49 km, w), 8. *Kobylja Golowa, Oljchon* (14 m, 14 km, w, r), 9. *Kolokoljnyi* (115 m, 42 km, w), und 10. *Goloustnoe* (7 m, 10 km, w, r). Je höher das Leuchtfeuer über dem Seespiegel liegt, desto weiter reicht ihre Sichtbar-

keit. (Von den hinter den Namen der Leuchttürme eingeklammerten Zahlen bedeutet die erste die *Höhe* des Feuers über dem Wasserspiegel, die zweite dessen *Reichweite* der Sichtbarkeit; „w" = weißes Licht; „r" = rotes Licht).

Heute sind nur noch wenige von diesen Feuern in Tätigkeit. Einige Türme mit moderner Petroleum-Anlage, die mehrere Monate ohne Wächter selbsttätig arbeiten, kamen neu hinzu. Infolge ihrer Aufstellung an ungünstigen Punkten, besonders aber wegen ihres zu kleinen Aktionsradius von nur 5 km, sind diese „Flußleuchttürme" kein Ersatz für die früheren.

Flußverkehr.

Der Schiffsverkehr auf dem See setzt sich als *Flußverkehr* noch weitgehend in sein umgebendes Einzugsgebiet fort. So ist die *Selenga* bis zur mongolischen Grenze schiffbar und bildet eine wichtige Verkehrsader vom Baikal über Werchne-Udinsk nach *Kjachta*. Keinerlei Stromschnellen hemmen, wie in der Unteren Angara, die Schifffahrt, die lediglich durch die Gewundenheit des Fahrwassers und seichte Barren an der Mündung etwas behindert wird. Von Anfang November bis April ist der Fluß mit Eis bedeckt und erlaubt dann nur einen Schlittenweg. Ausgeführt werden auf der Selenga besonders Manufakturwaren in die Mongolei, eingeführt chinesischer Tee. Auch ihr Nebenfluß *Tschikoi* ist die letzten 252 km ihres Laufes schiffbar. Die Selenga und ihre Nebenflüsse schließen mit einem Wort die ganze Westhälfte des fruchtbaren und dichtbesiedelten *Transbaikalien* auf und *lenken dessen Verkehr zum Baikal.* Auch auf dem *Bargusinfluß* greift der Schiffsverkehr des Sees 64 km, ja auf der *Oberen Angara*, am Nordende des Baikal, sogar 260 km weit flußaufwärts in die Umgebung.

Landverkehr.

Den Landverkehr in der Umgebung des Sees leitet hauptsächlich der erwähnte alte *transsibirische Handelstrakt* um das Südufer zwischen Irkutsk und Werchne-Udinsk, von wo auch ein Posttrakt über Turka nach der Stadt *Bargusin* führt, die mit Irkutsk auch durch eine Telegraphenleitung verbunden ist. Nur ein Distriktsfahrweg verbindet sonst noch den Ort Kudara auf dem Selengadelta, entlang dem Ufer der Prowalbucht, mit dem Dorfe Suchaja im Bargusintal.

So sehr die Wasserfläche des Baikal den *Nahverkehr*, auch im Winter auf dem Eise, nach allen Richtungen hin ermöglicht und ebenso wie die sibirischen Ströme besonders den nordsüdlichen Verkehr auf 670 km Länge beherrscht, so bildet, im Gegensatz zu den relativ untiefen sibirischen Strömen, der breite und 1400 m tiefe Südteil des Baikal für den transsibirischen ostwestlichen *Fernverkehr* im Sommer ein erhebliches *Hindernis*. Im Winter setzte sich zwar der Landverkehr 3 Monate lang mit Schlitten und selbst mit der Eisenbahn über die 70—130 cm dicke Eisdecke ungehindert und sogar *geradlinig* fort. Im Sommer dagegen mußte der Wagenverkehr das Hindernis auf dem südlichen Umgehungstrakt auf gewaltigem Umwege umfahren bzw. mit Hilfe des Trajektdampfers, genau wie der Eisenbahnverkehr, künstlich aufrechterhalten werden.

Diese Fähre war in Anpassung an die beschriebenen Eisverhältnisse gleichzeitig als *Eisbrecher* konstruiert, die bis zu 120 cm dickes Eis zu sprengen vermochte und die den schwimmenden Trajektverkehr bei noch nicht bzw. nicht mehr tragfähigem Eise im Herbst und Frühjahr ermöglichen konnte. Die *Dampfeisbrecherfähre Baikal* nahm auf den über das Hauptdeck längs der Schiffsachse liegenden 3 Schienensträngen einen Zug aus 25 beladenen Güterwagen auf. Die Kajüten des Oberdeckes boten Raum für 150 Fahrgäste. Zu seiner Unterstützung diente der kleine Reserveeisbrecher „Angara".

Mit der Eröffnung der *Baikal-Umgehungsbahn* im Jahre 1904, deren Bau mit vielen technischen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, wurde die mittelsibirische Bahnlinie mit der ostsibirischen verbunden, so daß nunmehr ein geschlossener Schienenstrang das ganze nördliche Eurasien als wichtigster Lebensnerv vom Atlantischen bis zum Stillen Ozean durchzieht. Seine Bedeutung für den Baikal, der sie nach Süden ausstülpt, wurde oben schon hervorgehoben.

Zusammenfassung.

Lassen wir zum Schluß noch einmal alle angeführten Momente an uns vorübergleiten, so ergibt sich in kurzen Zügen folgendes Bild: Die heutige *Beckenform* des Baikal ist ein Produkt aus älteren (tertiären) und jüngeren (posttertiären) Zerrungsbrüchen, die ihn mit 1522 m, d. h. — 1060 m *unter* dem Meeresspiegel, zum tiefsten Süßwassersee der Erde machten und seinem Volumen nach unter allen Seen an die zweite Stelle setzten. Tektonik, Erosion und Akkumulation (Selengadelta) bestimmten nicht allein seine Gliederung in 3 Becken, sondern auch die Einzelformgebung. Seine *geographische Lage* in Verbindung mit der *enormen Tiefe* bedingen die chemischen und physikalischen Eigentümlichkeiten des *Wassers*, die große Durchsichtigkeit, den jährlichen Wärmehaushalt, besonders seine tiefe Mitteltemperatur und relativ kurze Eisbedeckung (Januar-Mai) mit allen eistektonischen Folgeerscheinungen. Der Wärmehaushalt, selber ein Produkt aus Klima und Seetiefe, bewirkt rückwirkend wieder eine deutliche lokale Milderung der Kontinentalität des sibirischen *Klimas* und macht dieses sozusagen „ozeanischer". Die Entstehungsgeschichte und Formgebung des Seebeckens in Verbindung mit der Chemik und Thermik des Wassers erklären weiter die Eigenart der *Lebewelt* des Sees (vgl. S. 112), die so auffällig ist, daß man die Fischfauna als selbständige „subregio baicalensis" auffassen muß. Der Fischreichtum des Sees bildet wieder die Grundlage der

baikalischen *Wirtschaft*, die zusammen mit dem dadurch entstandenen *Verkehr* die Grundlage zur *Besiedlung* gibt, die in der Form darauf reagiert, daß einer schwach besiedelten größeren Südhälfte des Sees eine kleinere, fast völlig unbesiedelte Nordhälfte gegenübersteht. Die Flußschiffahrt erweitert den Seeverkehr bis weit in sein Einzugsgebiet hinein. Im Gegensatz hierzu bildet der See für den Fernverkehr ein großes Hindernis.

Die Besonderheit von *Lage*, *Tiefe* und *Alter*, von einer höheren Begriffsebene aus gesehen, also von Raum und Zeit — *das* sind die *drei maßgebenden Faktoren, die das Wesen des Baikalsees völlig bestimmen*. Das Fehlen oder auch nur die Veränderung eines von diesen dreien würde das ganze Phänomen von Grund aus anders gestalten. Sie bilden die immer wiederkehrenden *Leitmotive* in der Kette aller, selbst der kleinsten, der genannten Erscheinungen, von den Großformen des Beckens bis zum Verkehr der Menschen. Sie allein sind es, deren Zusammenspiel den Baikal in jeder Beziehung stempeln nicht allein zum seltsamsten See der Erde, sondern auch zu einer in sich geschlossenen *geographischen Einheit*.

Phototropotaxis bei Meerestieren.

Von GOTTFRIED FRAENKEL, z. Zt. Neapel.

(Aus der Zoologischen Station.)

Unter Tropismen versteht man nach der Definition J. LOEBS, des Schöpfers der Tropismenlehre, die „zwangsmäßige Orientierung eines Organismus gegen resp. die zwangsmäßige Progressivbewegung zu oder von einer Energiemenge". Die Orientierung geschieht dadurch, daß durch Reizung der Receptoren tonische Erregungen zum Bewegungsapparat fließen, wobei das Maß der Erregung in bilateralsymmetrischen Erfolgsorganen innerhalb bestimmter Grenzen der Stärke der Reize entspricht, welche bilateralsymmetrische Receptoren treffen. Deckt sich die Medianebene des Tieres mit der Richtung der Reizwirkung, so gehen von bilateralsymmetrischen Receptoren gleichstarke Erregungen zu den Erfolgsorganen aus: das Tier bleibt also in dieser Stellung bzw. bewegt sich in der Richtung der Reizwirkung. Bildet jedoch die Medianebene des Tieres mit der Richtung der Reizwirkung einen Winkel, so werden die Erfolgsorgane verschieden stark erregt: das Tier dreht sich automatisch so lange, bis einander symmetrische Receptoren gleichstark erregt werden.

Es wird heute fast allgemein angenommen, daß geotaktische Einstellungen in der Tat als Tropismen aufzufassen sind. Dagegen spielt sich seit langer Zeit ein lebhafter Kampf um die Deutung der phototaktischen Erscheinungen im Tierreich ab. Nach der Tropismenlehre erfolgt die Einstellung zu einer Lichtquelle auf Grund von Lichtintensitätsdifferenzen, welche die Receptoren treffen. Dagegen betonen einige Autoren (MAST, v. BUDDENBROCK), daß die Tiere die Lichtquelle fixieren, d. h. den Körper so lange drehen, bis bestimmte Bezirke der Retina, die Stellen des deutlichsten Sehens, vom Lichtreiz getroffen werden. KÜHN bezeichnet die erregungssymmetrischen Einstellungen als Tropotaxis, die Zielbewegungen als Telotaxis.

Schwimmt das Tier auf *eine* Lichtquelle zu, so ist nicht festzustellen, auf welche von beiden Weisen diese Reaktion zustande kommt. Wirken jedoch *zwei* Lichtquellen, so erscheint die Lösung der Frage sehr einfach: Ein telotaktisch reagierendes Tier schwimmt auf eine Lichtquelle zu, ohne die andere zu beachten, während nach dem Tropismenschema sich das Tier in eine Resultante der von verschiedenen Seiten wirkenden Lichtintensitäten einstellt. Jedoch ist das Ergebnis des Zweilichterversuches meist nicht eindeutig. Insbesondere ist das oft beobachtete Verhalten von Tieren, die zuerst der Resultanten des Kräfteparallelogramms folgen, dann aber sich einem der beiden Lichter zuwenden, bald als Tropotaxis, bald als Telotaxis gedeutet worden. Weiter hat man geglaubt, durch einseitige Blendung die Frage entscheiden zu können. Bei Telotaxis kann das Licht immer noch mit einem Auge fixiert und in geradlinigem Laufe erreicht werden, während sich das Tier bei Tropotaxis in Kurven bewegen muß, da bei Ausschaltung eines Auges kein Reizmengengleichgewicht mehr bestehen kann. Jedoch ist dieser Schluß nicht zwingend. Nach Ausschaltung eines Sinnesorgans können Regulationen[1]) eintreten, indem gleichsinnige Erregungen von einem Sinnesorgan nach beiden Körperseiten geleitet werden. Voraussetzungen dafür sind gegeben, da wir aus geotaktischen Reaktionen sowie aus der Umkehrbarkeit der Phototaxis schließen können, daß ein Sinnesorgan mit beiden Körperseiten nervös verbunden ist.

So ist der Ausfall dieser Versuche auch nicht eindeutig. Vielfach ist ein operativer Eingriff überhaupt nicht oder nicht ohne schwere innere Schädigungen des Zentralnervensystems möglich. Die alten Methoden werden demnach als nicht beweiskräftig erkannt. Dazu kommt, daß es vielfach an einer glücklichen Wahl der Objekte gefehlt hat. Deshalb ist eine Klärung der strittigen Fragen nur mit neuen Methoden und mit günstigen Objekten zu erwarten.

Einen starken Beweis für die Richtigkeit der Tropismenlehre hat man in der Gültigkeit des Resultantengesetzes gesehen. Wird ein Organismus im Punkte A von den Strahlen zweier Lichter L_1

[1]) Vgl. dazu BETHE, A., und E. WOITAS, Funktionswechsel nervöser Zentren nach Amputation von Gliedmaßen. Ber. ü. d. ges. Phys. **32**, 686. 1925.

und L_2 getroffen (s. Fig. 1), so stellt er sich in die Richtung der Resultante R in dem Kräfteparallelogramm ein, dessen Seiten in der Richtung der Lichtstrahlen und im Verhältnis der wirkenden Lichtintensitäten I_1 und I_2 konstruiert sind. Zur Vereinfachung der Berechnungen wählt man den Winkel Licht 1—Tier—Licht 2 gleich 90°. Den Winkel α, den die Schwimmrichtung der Tiere mit der Verbindungslinie des Tieres mit dem stärker wirksamen Licht bildet — wir wollen ihn in dieser Arbeit stets als *Startwinkel* bezeichnen —, errechnet man dann sehr leicht nach der Formel $\operatorname{tg}\alpha = \frac{I_2}{I_1}$. Im einfachsten Fall sind die Lichtquellen gleich stark und vom Tiere gleich weit entfernt. Die Tiere sollen dann auf der Halbierungslinie eines Winkels schwimmen, dessen Schenkel die Verbindungslinien der Lichter mit dem Startpunkt der Tiere bilden ($\alpha = 45°$). Dieser Versuch, in der Literatur kurzweg als

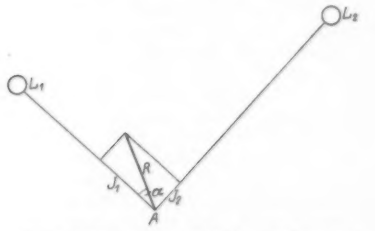

Fig. 1. Konstruktion der Schwimmrichtung positiv phototropotaktischer Tiere bei Einwirkung zweier Lichter L_1 und L_2 als Resultante in einem Kräfteparallelogramm.

„Zweilichterversuch" bezeichnet, ist öfters, namentlich von V. BUDDENBROCK zur Prüfung der Gültigkeit der Tropismenlehre angewandt worden. Wir werden jedoch später sehen, daß er für die Entscheidung der Fragen ganz ungeeignet ist.

Die Gültigkeit des Resultantengesetzes ist mehrfach nachgewiesen worden, am schönsten von BUDER an *Euglena*, weiter von LOEB an *Limulus* und Larven von *Lepas*, von PATTEN an Fliegenlarven, von A. MÜLLER an Landisopoden usw. Meist gelang der Nachweis nur für negative Phototaxis oder bei Tieren mit sehr primitiv gebauten Augen. Man könnte daraus den Schluß ziehen, daß reine Phototropotaxis nur dann auftreten kann, wenn eine Fixierung der Lichtquelle unmöglich ist wie im diffusen Licht, bei sehr primitiv gebauten Augen oder Hautlichtsinn und ferner bei negativer Phototaxis. Auch zwischen dem parallelstrahligen Licht zweier Bogenlampen soll nach V. BUDDENBROCK eine Fixierung der Lichtquellen unmöglich sein. Es gelang mir jedoch, bei einer Reihe positiv phototaktischer Tiere mit ohne Abblendung strahlenden Glühbirnen nachzuweisen, daß sie nach dem Resultantengesetz reagieren.

Am deutlichsten gelingt der Nachweis bei dem kleinen Copepoden *Phyllothalestris mysis* (CLAUS). Dieses Krebschen lebt in großen Mengen zwischen Algen im Hafen von Neapel. Die Versuchsanordnung ist äußerst einfach (s. Fig. 2). Als Versuchsbecken dient eine Glaswanne von ca. 30 cm Durchmesser. In der Verlängerung der Linien MA und MB brennen elektrische Birnen L_1 und L_2 von gleicher Lichtstärke. Die Strahlen schneiden sich also im Punkte M im rechten Winkel. Der Quadrant AB ist mit einer Gradeinteilung versehen. Die Tiere werden im Punkte M aus einer Pipette losgelassen. Die Ablesung des Winkels am Teilkreise erfolgt mittels eines gespannten Fadens, der im Punkte M unter dem Becken angebunden mit der Hauptrichtung der Tiere zur Deckung gebracht wird. Jede Ablesung bedeutet also bereits einen Durchschnittswert für einige

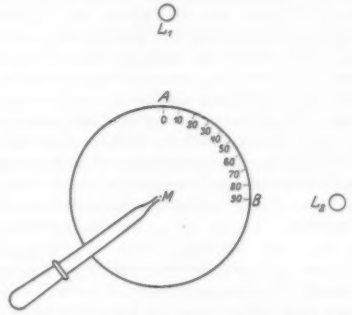

Fig. 2. Versuchsanordnung zur Prüfung des Resultantengesetzes und des BUNSEN-ROSCOEschen Gesetzes.

Hundert Tiere. Wird nun die Entfernung des Lichtes L_2 von M verringert — man könnte ebensogut durch Einschalten von Lichtfiltern die Lichtintensitäten ändern —, so schwimmen die Tiere in einer Richtung, die mit MA einen Winkel bildet der größer ist als 45°. Die Ablesung ergibt sehr genaue Resultate, wie sich aus folgender Tabelle ergibt:

Entfernung L_1M	Entfernung L_2M	Empirischer Wert des Winkels L_1ML_2	Durchschnitt	Theoret. Wert
50 cm	50 cm	46, 43, 45, 48, 47,	45,8	45°
50 cm	45 cm	48, 47, 48, 46, 49,	47,6	51°
50 cm	40 cm	54, 55, 58, 58, 54,	55,8	57,5°
50 cm	35 cm	68, 65, 66, 63, 66,	65,6	64°
50 cm	30 cm	72, 73, 72, 72, 73,	72,4	70°
50 cm	25 cm	78, 75, 76, 80, 76,	77	76°
50 cm	20 cm	81, 79, 81, 83, 81,	81	81°

In ähnlicher Weise konnte ich die Gültigkeit des Resultantengesetzes bei Caprelliden, den Isopoden *Aega* und *Arcturus* und den Polychäten *Nereis dumelili* und *Polyophthalmus pictus* nachweisen, durchwegs bei schwimmender Bewegung.

Nachdem feststand, daß die Tiere nach dem Resultantengesetz reagieren, war es einfach, die

Gültigkeit des BUNSEN-ROSCOESchen Gesetzes zu prüfen. Das BUNSEN-ROSCOESche Gesetz sagt, daß bei photochemischen Prozessen gleichen Produkten aus Intensität und Insolationsdauer innerhalb sehr weiter Grenzen gleiche Effekte entsprechen. Verkürzt man also die Belichtungszeit durch schnellen Wechsel von gleichdauernder Belichtung und Beschattung auf die Hälfte — man läßt zwischen Objekt und Lichtquelle eine Scheibe in Form eines Halbkreises rotieren —, so wird der von diesem Licht wirksame Effekt auf die Hälfte verringert. Wenn das Bunsen-Roscoesche Gesetz in diesem Falle gültig ist, dann schwimmt das Tier dieselbe Bahn, gleichgültig ob vor einem Licht ein Halbkreis rotiert, oder ob dasselbe Licht $\sqrt{2}$ mal entfernter bzw. das andere Licht $\frac{1}{\sqrt{2}}$ mal näher steht.

Wir stellen folgende Ergebnisse fest (Versuchsanordnung wie Fig. 2, Objekt Phyllothalestris mysis):

Die Scheibe rotiert vor Licht 1.

Entfernung L_1M	Entfernung L_2M	Empirischer Wert des Winkels L_2ML_1	Durchschnitt	Theoret. Wert
50 cm	50 cm	65, 62, 64, 61, 63, 64,	63,2	63°26′
35 cm	50 cm	48, 45, 44, 48, 45, 45,	46	45°

Die Umdrehungsgeschwindigkeit ist oberhalb einer bestimmten Tourenzahl (zirka zweimalige Unterbrechung pro Sekunde) ohne Einfluß.

Der Nachweis des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes ist also eindeutig gelungen.

Anders jedoch als die vorhin genannten Tiere reagiert der Amphipode *Corophium longicorne*. Dieses Krebschen schwimmt zwar sehr oft in der Richtung der Resultante, jedoch die meisten Tiere bewegen sich in der Richtung der Winkelhalbierungslinie, auch wenn die von beiden Seiten wirkenden Lichtintensitäten innerhalb bestimmter Grenzen verschieden sind. Er benimmt sich also so, als ob er von beiden Lichtern mit der gleichen Intensität bestrahlt würde. Dieser Befund scheint zunächst der Tropismenlehre zu widersprechen.

Genaue, mit der Berechnung übereinstimmende Werte für die Richtung der Resultante erhält man nur, wenn man die Anfangsrichtung bestimmt, den Startwinkel. Von dieser Richtung biegen die Tiere bald ab. Die Gründe hierfür sind sehr einleuchtend (vgl. Fig. 1 und 3). Konstruieren wir nach der Größe der im Punkte A wirkenden Lichtintensitäten das Kräfteparallelogramm, so erhalten wir in R die Anfangsrichtung der Tiere. Die Tiere schwimmen von A nach B. Jedoch im Punkte B hat sich das Verhältnis der Lichtintensitäten bereits geändert. Die Tiere sind dem Licht 1 verhältnismäßig näher gekommen als dem Licht 2. Die Konstruktion des Kräfteparallelogramms im Punkte B ergibt, daß die Tiere neuerdings nach links abbiegen. Die Tiere schwimmen also in einer Kurve, die schließlich im näheren Licht endet. (In Fig. 3 sind beim absteigenden Ast die Hilfslinien weggelassen.)

Die erhaltene Kurve zeigt folgende interessante Gesetzmäßigkeiten:

1. *Der Kulminationspunkt befindet sich ungefähr in der Mitte der Bahn.*

2. *Der aufsteigende Ast der Kurve zeigt eine überraschende Ähnlichkeit mit einer Parabel.*

Der bequemen Nomenklatur halber verwenden wir im folgenden die für die Wurfparabel gebräuchlichen Bezeichnungen. Die Höhe der Parabel h läßt sich aus der Wurfweite w und dem Elevationswinkel α nach folgender Formel berechnen:

$$h = \frac{w}{4} \cdot \operatorname{tg} \alpha ;$$

w bedeutet in unserer Kurve die Entfernung Startpunkt—Ziellicht und α ist der Startwinkel. Wir finden:

Höhe der Kurve nach Konstruktion 4,1 cm,
Höhe der Parabel nach Rechnung 4,3 cm.

Theoretisch bewegen sich also die Tiere in parabelähnlichen Kurven zum näheren Licht. Der rechnerische Beweis, daß es sich tatsächlich um Parabeln handelt, steht noch aus, ist aber für unsere Fragestellung gleichgültig, da es nur darauf ankommt, die ungefähre Form der Kurven zu charakterisieren.

Es ist nicht sonderlich schwer, den Weg, den die Tiere schwimmen, mit genügender Genauigkeit aufzuzeichnen. Man legt auf

Fig. 3. Konstruktion des Weges, den ein phototropotaktisch reagierendes Tier unter dem Einfluß zweier Lichter L_1 und L_2 theoretisch zurücklegt. A = Startpunkt, α = Startwinkel. Verkleinerung $^1/_4$.

den Grund des Versuchsbeckens Papier und füllt soviel Wasser auf, daß der leuchtende Faden der Glühlampe ganz im Wasser sichtbar ist. Zur Vermeidung von störenden Reflexen wurden anfangs die Glühlampen ins Wasser gehängt und die Wände des Versuchsbeckens mit schwarzem Papier beklebt. Jedoch zeigten Kontrollversuche, daß diese Vorsichtsmaßregeln ganz überflüssig sind und der Versuch ebensogut gelingt, wenn die Lichter durch die Glaswand scheinen und ein Licht dicht an eine Glaswand gerückt wird. Die Bahn wird dicht hinter den schwimmenden Tieren mit Bleistift oder mit geeigneten Farbstiften aufgezeichnet.

In Fig. 4 sind Schwimmkurven von *Phyllothalestris* abgebildet. *Die Beobachtung zeigt mit ganz*

überraschender Deutlichkeit, daß die Schwimmbahnen tatsächlich Parabeln ähneln. Damit dürfte ein überzeugender Beweis für die Richtigkeit der Tropismentheorie erbracht sein. Der Startwinkel α entspricht einigermaßen genau den Forderungen des Resultantengesetzes. In folgender Tabelle sind einige empirische und theoretische Werte für die Parabelkurven zusammengestellt:

	Entfernung vom Startpunkt Licht 1	Licht 2	Startwinkel empir.	theor.	Höhe d. Parabel empir.	theor.
Kurve 1	32 cm	34 cm	46	42	9	7,2
„ 2	32 „	36 „	39	38,5	8	6,7
„ 3	32 „	40 „	30	32,5	5,8	5,2
„ 4	32 „	48 „	24	24	4	3,6
„ 5	32 „	56 „	15	18	2,6	2,5

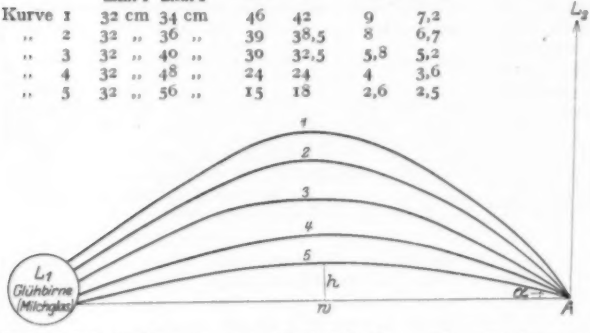

Fig. 4. Schwimmkurven von *Phyllothalestris myeis*. Entfernung $AL_1 = 32$ cm, AL_2 siehe Tabelle im Text. Verkleinerung der Originalkurven $^1/_4$.

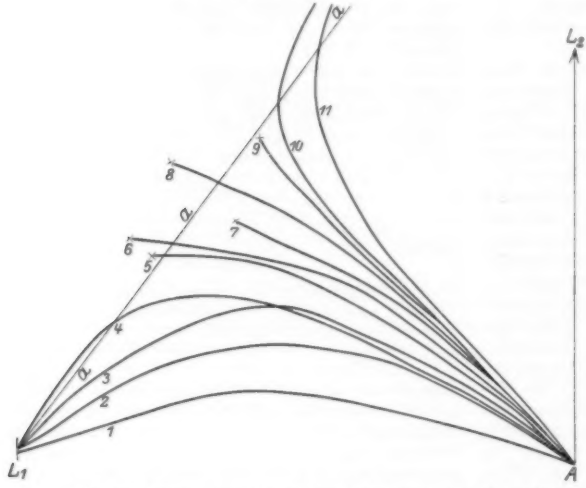

Fig. 5. Schwimmkurven von *Corophium longicorne*, alle bei gleicher Entfernung der Lichter geschwommen. Entfernung $AL_1 = 35$ cm, $AL_2 = 50$ cm. a = Verbindungslinie der beiden Lichter. Verkleinerung der Originalkurven $^1/_4$.

Ähnliche Parabelkurven konnte ich bisher bei den Polychäten *Nereis dumerili* und *Polyophthalmus pictus* sowie bei Caprelliden feststellen.

Wesentlich verwickelter und schwieriger zu deuten verlaufen die Schwimmkurven von *Corophium* (s. Fig. 5). Wie schon oben festgestellt, folgt dieses Krebschen in vielen Fällen nicht genau dem Resultantengesetz, sondern schwimmt auch bei Ungleichheit der Lichter vielfach auf der Winkelhalbierungslinie. Ein Teil der Tiere reagiert also nach dem Resultantengesetz, andere schwimmen mit einem zu großen Startwinkel los. Nun ist mit großer Deutlichkeit festzustellen, daß auch hier die geschwommenen Bahnen meist Parabeln sind (vgl. Kurve 1, 2, 3). Dies gilt auch für Bahnen, die auf der Winkelhalbierungslinie beginnen und sogar oft für Bahnen, deren Startwinkel größer ist als 45°. Allerdings in den letzteren Fällen biegt sehr häufig die Bahn des Tieres nach rechts ab und endet schließlich am schwächeren Licht, ebenfalls in einer Parabelkurve (Kurve 10 und 11). Jedoch die Mehrzahl der Tiere, deren Startwinkel gegen 45° beträgt, verhält sich anders. Sie schwimmen bis zu einem gewissen Punkt und sinken dann plötzlich unbeweglich zu Boden (Kurve 5—9). Ein Vergleich vieler solcher Punkte zeigt, daß die Schwimmbahnen alle in der Nähe der direkten Verbindungslinie der beiden Lichter enden. In Fig. 5 sind die Enden dieser Bahnen mit einem kleinen × bezeichnet.

Das Verhalten der Tiere, die eine Parabelkurve schwimmen, ist einfach zu erklären. Die Tiere verhalten sich rein tropotaktisch. Der Widerspruch mit dem Resultantengesetz läßt sich auf zwei Wegen lösen:

1. Beide Reizwirkungen sind für die Tiere maximal, sie perzipieren oberhalb einer bestimmten Grenze den Intensitätsunterschied der ziemlich starken (35 Kerzen) Glühlampen nicht mehr. Diese Erklärung läßt sich durch die Tatsache stützen, daß bei sehr schwachen Lichtern (Kerzenlicht) und bei großen Intensitätsunterschieden von etwa über 4 : 1 eine weit größere Anzahl von Tieren von vornherein dem Resultantengesetz gehorcht.

2. Die Tiere besitzen eine Asymmetrie. Es kann sich sowohl um eine Asymmetrie der Receptoren als auch der Effectoren handeln. Im ersteren Fall ist vornehmlich an eine physiologische Asymmetrie gedacht, die morphologisch in den meisten Fällen nicht nachweisbar sein dürfte. Die Augen perzipieren die Lichtintensitäten in anderem Verhältnis, als tatsächlich besteht. Die Tiere schwimmen selbstverständlich in Bahnen, welche den perzipierten Lichtintensitäten entsprechen. In Fig. 5

zeigen die Kurven 1, 2, 3 drei Parabelkurven, die bei derselben Stellung der Lichter von verschiedenen Tieren geschwommen wurden. Die Regelmäßigkeit der Kurven legt hier die Deutung nahe, daß die Unterschiede auf einer physiologischen Asymmetrie der Receptoren beruhen.

Die Kurve 4 erkläre ich auf folgende Weise. Das Tier ist in seinen Effectoren asymmetrisch, die Beine der linken Seite schlagen stärker als die der rechten. Der Anfangskurs der Tiere geht also zu weit nach rechts. Jedoch je näher das Tier dem Lichte L_1 kommt, um so stärker schlagen die Beine der rechten Seite. Das Tier steuert endlich in einer scharfen Kurve auf das Licht L_1 zu. Derartige Kurven, die langsam ansteigen und stark abfallen, wurden mehrfach beobachtet.

Es bleibt noch übrig, auf die Schwimmbewegungen einzugehen, die in der Nähe der Verbindungslinie der beiden Lichter plötzlich abbrechen. Dieser Vorgang ist zunächst schwer verständlich. Die Lösung zeigt folgender einfache Versuch: Die Tiere befinden sich in einer Wanne und schwimmen auf eine Lichtquelle zu. Wird nun, während die Tiere in Bewegung sind, hinter ihnen eine zweite Glühlampe angedreht, so bietet sich ein überraschendes Bild. Die Tiere stellen mit einem Schlage ihre Schwimmbewegungen ein und sinken ab. Sobald ein Licht gelöscht wird, schwimmen sie wieder wie auf Kommando aufs brennende Licht zu. Am eindruckvollsten verläuft der Versuch mit *Phyllothalestris*. Hier sinken fast sämtliche Tiere ab, außer denjenigen, die sich in unmittelbarer Nähe einer Lichtquelle befinden. *Corophium* sinkt regelmäßig dann ab, wenn er sich ungefähr in der Mitte zwischen den Lichtquellen befindet. Sonst schwimmt er auf das zunächst leuchtende Licht zu.

Die Erklärung für dieses Verhalten finden wir in folgender einfachen Gesetzmäßigkeit: ***Beleuchtung von hinten bzw. der nach hinten gerichteten Partien des Auges wirkt als Hemmung auf den Bewegungsapparat.*** Dieser Satz gilt, wie ich mich überzeugt habe, für alle von mir untersuchten phototropotaktisch reagierenden Tiere. Wir werden bald sehen, wie es auf Grund dieser Versuche möglich ist, einige gegen die Tropismentheorie vorgebrachte Argumente zu entkräften. Kehren wir zu unseren Tieren Fig. 5 zurück, die wir absinken sahen. Das Absinken geschieht in der Nähe der Verbindungslinie der beiden Lichter. Die Tiere sinken ab, weil in dieser Stellung Licht auf die nach hinten gerichteten Augenpartien fällt.

Dieser Versuch wurde deshalb so ausführlich besprochen, da hier sehr deutlich sichtbar ist, daß auch bei rein tropotaktischen Reaktionen das Verhalten der Tiere sehr verschieden sein kann, ohne daß wir die Zwangsmäßigkeit der Reaktion bezweifeln können. Es ist hier nicht der Ort, darauf einzugehen, inwiefern auf Grund dieser Beobachtungen es möglich ist, eine Reihe von Widersprüchen und gegensätzlichen Beobachtungsergebnissen, welche gegen die Tropismenlehre in der letzten Zeit ins Feld geführt wurden, aufzuklären. Darauf soll an anderer Stelle eingegangen werden.

Zuletzt soll nur gezeigt werden, daß es jetzt möglich ist, das Verhalten der Tiere im sog. Zweilichterversuch rein tropotaktisch zu deuten. Als Versuchsobjekt dient *Corophium*. Beide Lichtquellen sind gleich stark und stehen vom Startpunkt gleichweit entfernt. Die Tiere schwimmen dann, wie eine oberflächliche Betrachtung der Fig. 6 zeigt, auf der Winkelhalbierungslinie und biegen nach beiden Seiten ab, um bei einem Licht zu enden. (Zunächst denkt man an v. BUDDENBROCKS Verhaltungstypus B) Beobachtet man

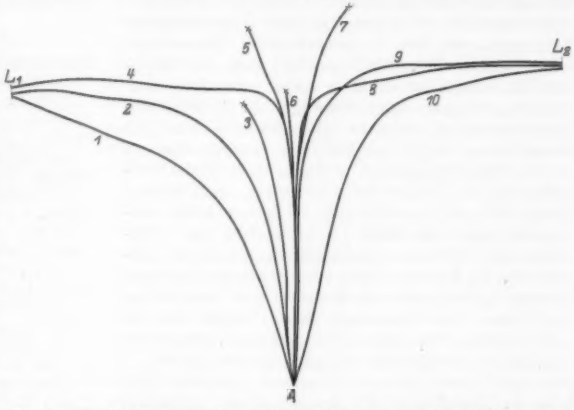

Fig. 6. Zweilichterversuch. Schwimmkurven von *Corophium*. Verkleinerung der Originalkurven $^1/_4$.

jedoch genau viele einzelne Schwimmbahnen, so kann man folgende Handlungstypen unterscheiden:

A. Die Tiere schwimmen in der Richtung der Winkelhalbierungslinie bis in die Nähe der Verbindungslinie der beiden Lichter (vgl. Kurve 3, 5, 6, 7). Dort sinken sie ab, um nach einer gewissen Ruhezeit spontan auf ein Licht zuzuschwimmen. Manchmal ist die Zeit der Hemmung sehr kurz und noch im Sinken setzen wieder die Schwimmbewegungen ein, welche die Tiere geradlinig zu einer Lichtquelle führen. Man bekommt leicht den Eindruck, wenn man viele Tiere auf der Winkelhalbierungslinie bis zum Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen beiden Lichtern und von da aus auf dieser Linie schwimmen sieht, daß es sich um einen ausgezeichneten Punkt handelt, einen Entscheidungspunkt nach der Definition v. BUDDENBROCKS. Doch fällt, wenn man die Zusammenhänge dieser Handlungsweise er-

kennt, jede Ursache fort, hier von Zielbewegungen zu sprechen.

B. Die Tiere schwimmen in einer Parabelkurve zu einem Licht. Dieses Verhalten läßt auf eine Asymmetrie der Receptoren schließen. Da die Asymmetrien im allgemeinen klein sind, nähert sich der Wert des Startwinkels 45°. Es sieht also oft so aus, als ob die Tiere zunächst auf der Winkelhalbierungslinie schwimmen (vgl. Kurve 1, 2, 9, 10).

C. Die Tiere schwimmen auf einer Linie, die mit der Winkelhalbierungslinie einen kleinen Winkel bildet. Anfangs ist die Reizmengendifferenz sehr klein, sie wird um so größer, je näher die Tiere der Verbindungslinie der beiden Lichter rücken. Schließlich wird die Differenz perzipiert, die Tiere schwimmen in einer mehr oder weniger scharfen Kurve zum Licht (vgl. Kurve 4, 8).

Aus den früher dargelegten Ausführungen ist es leicht, diese Handlungstypen zu verstehen. Vor allem ist interessant, daß die Tiere im Zweilichterversuch gerade nicht den Weg einschlagen können, den ihnen die Theorie ursprünglich (LOEB und BOHN) vorschrieb. Man glaubte, daß ein tropotaktisch reagierendes Tier sich zwischen zwei Lichtern diagonal durchbewegt, da infolge des Erregungsgleichgewichtes ein Abbiegen von der Resultanten nicht möglich ist. Längst ist an vielen Objekten gezeigt worden, daß dieses Verhalten in der Tat nicht vorkommt. Auf Grund dieser Befunde hat man die Tropismenlehre verdammt, ohne ernstlich zu versuchen, das Verhalten der Tiere im Zweilichterversuch zu analysieren. Da jetzt an vielen positiv phototaktischen Formen gezeigt werden konnte, daß Belichtung von hinten als Hemmung wirkt, dürfte für sie und vielleicht für andere sich ähnlich verhaltende Objekte es klargestellt sein, warum sie sich nicht zwischen zwei Lichtern diagonal durchbewegen können. Damit hört der Ausfall dieses Versuches auf, als Kriterium gegen die Richtigkeit der Tropismenlehre zu gelten.

Aus unseren Versuchen ergibt sich, daß im Zweilichterversuch höchst verwickelte Verhältnisse herrschen und daß er infolgedessen ganz ungeeignet ist, die Frage, ob ein Tier tropotaktisch reagiert, zu entscheiden. Bei der Prüfung des Resultantengesetzes macht es die Asymmetrie der Tiere höchst schwierig, klare Ergebnisse zu erzielen. Man muß entweder sehr viele kleine Tiere zur Verfügung haben, so daß mit Leichtigkeit eine Hauptrichtung festzustellen ist, wie bei den Versuchen BUDERS mit *Euglena* oder meinen Versuchen mit *Phyllothalestris*, oder es müssen aus vielen Versuchen mit vielen Tieren Durchschnittswerte errechnet werden. Der letztere Weg ist höchst mühsam und zeitraubend und überdies methodisch nicht einwandfrei. Die Versuche v. BUDDENBROCKS sind nicht entscheidend, da sie mit zu wenig Tieren angestellt sind.

Ein neues und anscheinend sicheres Kriterium für phototropotaktische Orientierung ist die Schwimmkurve in einem Zweilichterversuch mit ungleicher Stärke der Lichter. Es genügen wenige Tiere, die Versuchsanordnung ist denkbar einfach. Schwimmen die Tiere in parabelförmigen Bahnen zum stärkeren Licht, so ist tropotaktisches Verhalten nachgewiesen.

Literatur.

BUDDENBROCK, W. v., Untersuchungen über den Mechanismus der phototropen Bewegungen. Wissenschaftl. Meeresunters. N. F. Abt. Helgoland **15**. 1922

BUDER, J., Zur Kenntnis der phototaktischen Richtungsbewegungen. Jahrb. f. wiss. Botanik **58**. 1919.

HERTER, K., Versuche über die Phototaxis von Nereis diversicolor. Zeitschr. f. vergl. Physiol. **4**. 1926.

KÜHN, A., Die Orientierung der Tiere im Raum. Jena 1919.

LOEB, J., Die Tropismen, in Wintersteins Handbuch der vergl. Physiol. **4**. 1911.

LOEB, J., Forced Movements, Tropisms, and Animals Conduct. Philadelphia and London 1918.

LOEB, J., and NORTHROP, J. H., Heliotropic Animals as Photometers on the Basis of the Bunsen-Roscoe Law for Heliotropic Reactions. Proc. of the nat. acad. of sciences (U.S.A.) 1917.

MAST, S. O., Light and the Behavior of Organisms. New York 1911.

MÜLLER, A., Über Lichtreaktionen von Landasseln. Zeitschr. f. vergl. Physiol. **3**. 1925.

NORTHROP, H. S., and LOEB, J., The photochemical Basis of Animal Heliotropism. Journ. of gen. physiol. **5**. 1923.

PATTEN, B. M., A quantitativ Determination of the Orienting Reaction of the Blowfly Larva. Journ. of exp. zool. **17**. 1914.

Über das Hormon der Herzbewegung[1]).

Von L. HABERLANDT, Innsbruck.

Die seit langem bekannte Tatsache, daß ein aus dem Wirbeltierkörper entferntes Herz verschieden lange selbständig weiterzuschlagen vermag, beweist, daß sämtliche Bedingungen für den spontanen Herzschlag in diesem Organ selbst gelegen sein müssen. Daß der Anstoß für die Herzbewegung in letzter Linie wohl einen *chemischen* Reiz darstellt, hat man auch bereits seit geraumer Zeit angenommen. Obzwar aber zahlreiche ältere und neuere Untersuchungen die Bedeutung anorganischer und organischer Stoffe für die Herztätigkeit aufgezeigt haben, fehlte doch bis in die jüngste Zeit ein näherer Einblick in das Wesen der Herzreizbildung.

Vor einigen Jahren hat nun zunächst der Brüsseler Physiologe J. DEMOOR[1]) den wichtigen Nachweis erbracht, daß wässerige Extrakte aus dem rechten Vorhof des Hundeherzens an dem-

[1]) Teilweise vorgetragen auf der 89. Naturforscher-Versammlung zu Düsseldorf am 23. September 1926.

[1]) J. DEMOOR, Arch. internat. de physiol. **20**, 29 u. 446. 1922—1923.

selben Herzteil des Kaninchens pulsauslösend, pulsbeschleunigend und pulsverstärkend wirken. In Fortführung seiner Versuche hat weiters dieser Forscher[1]) gezeigt, daß im besonderen Extrakte aus jener Gegend des rechten Vorhofes, von der die Herzbewegung ihren Ausgang nimmt und die als KEITH-FLACKscher Sinusknoten bekannt ist, die erwähnten Wirkungen ausüben.

Unabhängig von diesen für die allgemeine Herzphysiologie ungemein bedeutungsvollen Befunden am Warmblüterherzen, die mir erst nach Abfassung meiner ersten ausführlichen Arbeit zur Kenntnis gekommen sind, gelang es mir[2]) vor zwei Jahren, im obersten venösen Anteil des Froschherzens (sog. Sinus venosus) einen *Erregungsstoff* nachzuweisen, der nach seiner Bildung am Ursprungsort der Herzbewegung und seiner Wirkungsweise als auslösendes Moment für den spontanen Herzschlag angesehen werden mußte und den ich daher als *Hormon der Herzbewegung* oder auch kurz als *Herzhormon* bezeichnet habe.

Der Grundversuch, mit dem ich meine Untersuchungen nach verschiedenen Vorversuchen begonnen hatte, kann sehr einfach ausgeführt werden: Läßt man den herausgeschnittenen und vollkommen entbluteten obersten Anteil eines oder mehrerer Froschherzen (von großen Esculenten) in einer geringen Menge (ungefähr 1 ccm) einer zweckmäßigen Salzlösung (sog. Ringerflüssigkeit) längere Zeit spontan weiterpulsieren, so erhält diese Salzlösung *pulsauslösende, pulsbeschleunigende und pulsverstärkende* Eigenschaften[3]). Dieselben habe ich einerseits durch Einbringen in den abgetrennten Froschherzventrikel, andererseits in weiteren Untersuchungen[4]) an herausgeschnittenen Sinus-Vorhofstückchen sowie auch an ganzen, isolierten Froschherzen nachgewiesen. Wenn letztere schon seit $2-3^1/_2$ Tagen aus dem Organismus entfernt und bereits ganz *pulslos* waren, ließen sie sich sogar unter Umständen durch die mit der Herzreizsubstanz angereicherte Salzlösung zu abermaligem Schlagen *wiederbeleben*, während dies mit der gewöhnlichen Ringerlösung nicht mehr erreichbar war. Zahlreiche Kontrollversuche, in denen die abgetrennten Froschherzspitzen in gleicher Menge Ringerlösung durch elektrische Reize längere Zeit zu rhythmischer Pulsation gebracht wurden, ohne daß dadurch die Salzflüssigkeit die obigen Wirkungen bekommt, haben dargetan, daß die früher erwähnten Effekte durch einen *spezifischen Herzerregungsstoff* hervorgerufen werden und nicht etwa nur durch Stoffwechselprodukte (wie Kohlensäure oder Milchsäure) oder ganz allgemein durch eine Änderung des Ionengleichgewichtes bedingt sind, wie sie im Gefolge der Herzmuskeltätigkeit auftreten. In fortgesetzten Versuchen[1]) konnte ich ferner die Herzreizsubstanz auch aus der *Kammerbasis* des Froschherzens gewinnen, wo innerhalb des die Vorhöfe mit dem Ventrikel verbindenden, von W. HIS JUN. entdeckten, sog. *Atrioventrikulartrichters* ebenfalls, wie bereits lange bekannt, automatische Herzreize entstehen können.

Neue Untersuchungen[2]) haben mir weiters Aufschluß über das *physikalische und chemische Verhalten des Herzerregungsstoffes* gegeben. Es zeigte sich zunächst, daß derselbe in *absolutem Alkohol löslich ist*, wie auch J. DEMOOR und P. RIJLANT[3]) alkoholische Extrakte aus der früher angegebenen Stelle des Warmblüterherzens wirksam gefunden hatten. Das Herzhormon kann daher kein Eiweißkörper sein, wogegen auch die neuerdings von mir[4]) festgestellte Tatsache seiner *Dialysierbarkeit* durch Pergamentmembranen spricht; es ist demnach bestimmt nicht hochmolekular zusammengesetzt. In *Äther* ist der Herzerregungsstoff *unlöslich*, er kann daher auch keine *Lipoidsubstanz* darstellen. Ferner hat sich das Herzhormon in meinen Versuchen als *hitzebeständig* erwiesen, da Aufkochen der wässerigen Extrakte die Wirksamkeit derselben nicht aufhebt. Die Thermostabilität ist ja als allgemein typisches Merkmal für sämtliche Hormone gefunden worden. Hier sei noch betont, daß das *Adrenalin*, das Hormon der Nebenniere, analog wirkt wie der Herzerregungsstoff; doch ist letzterer bestimmt nicht mit ersterem identisch, da er keine nennenswerte, adrenalinmäßige Gefäßverengerung bewirkt, im Gegenteil unter Umständen gefäßerweiternd wirkt. Schließlich soll noch hervorgehoben werden, daß das Herzhormon auch sicher nicht den von O. LOEWI entdeckten, sympathischen *fördernden Herznervenstoff* (Acceleranssubstanz) darstellt, da der Herzerregungsstoff wirksam bleibt, wenn sowohl Spender- als auch Testherzen mit dem sympathicuslähmenden Ergotamin stark vergiftet worden sind, wie dies von mir in allen Versuchsreihen gezeigt wurde.

Die Frage, in welchen Gewebsteilen der früher bezeichneten Herzpartien das Herzhormon erzeugt wird, muß man nach dem von mir[5]) in letzterer Zeit erbrachten *direkten* Nachweis, daß sich automatische Herzreize *rein muskulär* bilden, dahin beantworten, daß *der Herzerregungsstoff in der spezifisch differenzierten Muskulatur jener Herz-*

[1]) J. DEMOOR, Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. **91**, 90. 1924; Arch. internat. de physiol. **23**, 121. 1924.

[2]) L. HABERLANDT, Klin. Wochenschr. 1924, Nr. 36 und Zeitschr. f. Biol. **82**, 536. 1925.

[3]) Erst nachträglich wurde ich darauf aufmerksam, daß zwischen diesen Versuchen und den Untersuchungen der Magnus-Schule, in denen Cholin als Hormon der Darmbewegung nachgewiesen werden konnte, wesentliche Analogien bestehen.

[4]) L. HABERLANDT, Zeitschr. f. Biol. **83**, 53. 1925.

[1]) L. HABERLANDT, Klin. Wochenschr. 1925, Nr. 37 und Zeitschr. f. Biol. **84**, 143. 1992.

[2]) L. HABERLANDT, Klin. Wochenschr. 1926, Nr. 15 und Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **212**, 587. 1926.

[3]) J. DEMOOR und P. RIJLANT, Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. **93**, 814. 1925.

[4]) L. HABERLANDT, Klin. Wochenschr. 1926, Nr. 33 und Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **214**, 471. 1926.

[5]) L. HABERLANDT, Klin. Wochenschr. 1923, Nr. 2; Zeitschr. f. Biol. **76**, 49. 1922; **79**, 307. 1923; **82**, 161. 1924.

abschnitte (des sog. „spezifischen Reizbildungssystemes") entsteht, die das Vermögen eigener Automatie besitzen, also vor allem im obersten, venösen Anteil des Herzens (Sinusknoten des Warmblüterherzens bzw. Sinusgegend des Kaltblüterherzens) als dem Orte der normalen Herzreizbildung. Auf Grund meiner Versuchsergebnisse am Froschherzen, wonach die Herzreizsubstanz aber auch in der Kammerbasis bzw. im Hisschen Atrioventrikulartrichter zur Bildung gelangt, hatte ich schon damals das theoretische Postulat aufgestellt, daß der Herzerregungsstoff ebenso wie aus dem KEITH-FLACKschen Sinusknoten auch aus dem ASCHOFF-TAWARAschen Atrioventrikularknoten und dem Hisschen Bündel des Warmblüterherzens gewinnbar sein wird. Erst unlängst kam mir nun eine kurze Mitteilung von KÉMAL DJÉNAB und A. MOUCHET[1]) zu, welche Autoren fanden, daß wässerige und alkoholische Extrakte des Hisschen Bündels vom Rinderherzen beim Hund blutdruckherabsetzend und pulsbeschleunigend wirken. Es ist zweifellos, daß die beiden Konstantinopler Forscher in ihren Extrakten mit dem Herzerregungsstoff gearbeitet haben; in Übereinstimmung mit meinen Befunden fanden sie die Extrakte auch nach dem Aufkochen wirksam und stellten ebenso wie neuerdings J. DEMOOR und P. RIJLANT[2]) fest, daß sie nicht artspezifisch sind, was ja von allen hormonalen Stoffen gilt. Schließlich stimmt die blutdruckvermindernde Wirkung der Extrakte vom Hisschen Bündel, wie sie von KÉMAL DJÉNAB und A. MOUCHET nachgewiesen wurde, mit meiner Beobachtung völlig überein, daß der Herzerregungsstoff unter Umständen gefäßerweiternd wirkt. So erscheint die weitgehende Übereinstimmung der an drei verschiedenen Orten unabhängig voneinander hinsichtlich der Herzreizsubstanz gemachten Befunde am Kalt- und Warmblüterkörper als eine sehr befriedigende, gegenseitige Bestätigung und Ergänzung[1]).

Endlich ist wohl der Gedanke naheliegend, daß die Auffindung des Herzerregungsstoffes es in den Bereich der Möglichkeit bringt, in absehbarer Zeit ihn auch für *klinische Zwecke* zu verwenden, wenn sich derselbe in genügender Reinheit und Menge aus Herzen großer Schlachthaustiere wird herstellen lassen. Dadurch wird sich die Organotherapie auch auf das Gebiet der *Herzpathologie* erstrecken können, wobei die allgemein praktisch-medizinische Bedeutung eines *physiologischen Herzmittels* als natürlichen Förderers insuffizienter Herztätigkeit und der Vorteil seiner Anwendung gegenüber den bisherigen therapeutischen Herzgiftstoffen wohl klar zu Tage tritt.

[1]) KÉMAL DJÉNAB et A. MOUCHET, Bull. de l'acad. de méd. 3. Sér., T. 93, Nr. 1, S. 60–62. Séance du 6. Januar 1925.

[2]) J. DEMOOR et P. RIJLANT, a. a. O.

[1]) Die theoretische Bedeutung der neuen Befunde über den Herzerregungsstoff habe ich am Schluß meiner Monographie *„Reizbildung und Erregungsleitung im Wirbeltierherzen"* (Ergebn. d. Physiol. von ASHER und SPIRO, **25**, 86. 1926; auch als Sonderausgabe im Verlag J. F. Bergmann, München, erschienen) näher besprochen.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Über den Mechanismus der photochemischen Polymerisation des Anthracens.

Die Umwandlung des Anthracens in Dianthracen im Licht wurde im Jahre 1904 von LUTHER und WEIGERT quantitativ untersucht. Sie führt zu einem „photochemischen Gleichgewicht", also einem stationären Zustand. Die photochemische Bildungsgeschwindigkeit des Dianthracens konnte aus den Gleichgewichtsmessungen und aus direkten Geschwindigkeitsmessungen erhalten werden. Es ergab sich, trotzdem die Lichtabsorption schon bei sehr kleinen Anthracenkonzentrationen vollständig war, eine mit der Anthracenkonzentration langsam wachsende Bildungsgeschwindigkeit des Polymeren, die erst bei einer etwa 0,1 n-Lösung des Anthracens (etwa 2%) asymptotisch einen Grenzwert erreicht. Die Messungen wurden in siedendem Benzol (80°), Toluol (109°), Xylol (137°), Anisol (154°) und Phenetol (172°) als Lösungsmittel ausgeführt, immer mit dem analogen Ergebnis. Charakteristische Einflüsse des Lösungsmittels und der Temperatur waren nicht festzustellen. Theoretische Vorstellungen zur Deutung des Reaktionsmechanismus wurden von LUTHER und WEIGERT, BYK, WEIGERT und BODENSTEIN vorgeschlagen, von denen die drei ersten mit den neueren Vorstellungen über photochemische Reaktionen nicht mehr vereinbar sind, während die BODENSTEINsche Theorie mit Quanten operiert. In moderner Weise ausgedrückt nimmt BODENSTEIN an, daß ein Anthracenmolekül durch 1 Energiequant $h\nu$ aktiviert wird (1), und daß sich in einer Folgereaktion (2) ein aktiviertes Anthracen A′ mit einem normalen zu Dianthracen D vereinigt. Außerdem kann sich A′ wieder in normales Anthracen zurückverwandeln (3).

(1) $A + h\nu = A'$; (2) $A' + A = D$; (3) $A' = A$.

Die kinetische Auswertung dieser Reaktionsgleichungen mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes in der üblichen Weise ergab für die Bildungsgeschwindigkeit des Dianthracen

$$\frac{d(D)}{dt} = \frac{k_1 J_{abs} (A)}{(A) + k_2/k_3},$$

ein Ausdruck, der mit den experimentellen Befunden von LUTHER und WEIGERT, WEIGERT, WEIGERT und KRÜGER (für β-Methylanthracen) gut übereinstimmte.

Es war also zu erwarten, daß pro absorb. Quant im Grenzzustand (bei hohen Anthracenkonzentrationen) ein Molekül Dianthracen gebildet wird, und daß das WARBURGsche „Güteverhältnis" = 1 sein muß.

Zur experimentellen Prüfung lag bis jetzt nur die Messung der photochemischen Ausbeute von WEIGERT

aus dem Jahre 1909 vor, die als erste energetische Messung bei einer einfachen photochemischen Reaktion allerdings nicht sehr genau war. Sie ergab den Wert

$$\varphi = 0{,}69 \cdot 10^{-5}\,\frac{\text{Mol}}{\text{cal}}$$

für Dianthracen. Da nach neueren Versuchen feststeht, daß bei der Polymerisierung mit unzerlegtem Hg-Bogenlicht in Glasgefäßen fast ausschließlich die Liniengruppe Hg-366 mμ wirksam ist, ist das „indizierte photochemische Äquivalent" (nach E. WARBURG) $p = 1{,}285 \cdot 10^{-5}$ und das Güteverhältnis $\varphi/p = 0{,}54$. Der Wert paßt innerhalb der Fehler der Versuchsmethoden in der Größenordnung zu den BODENSTEINschen Annahmen.

Nach der neueren Entwicklung der Photochemie genügt aber eine Bestätigung des EINSTEINschen Gesetzes nur der Größenordnung nach nicht mehr zur Aufklärung des Mechanismus einer photochemischen Reaktion. Es ist nämlich wichtig, ob das Güteverhältnis gleich 1, 2, 0,5 ist oder in einer anderen ganzzahligen Beziehung zu 1 steht. Deshalb wurde gemeinsam mit Herrn cand. JÄCKH die energetische Untersuchung der Anthracenreaktion wieder aufgenommen.

Die Hauptversuche wurden monochromatisch mit den Liniengruppen Hg-366 und Hg-313 in Benzol, Toluol und Xylol bei ihren Siedepunkten und auch bei gewöhnlicher Temperatur ausgeführt. Die Analyse des entstandenen Dianthracens geschah mit einer neuen optischen Extinktionsmethode, da sich gezeigt hatte, daß die alte von LUTHER und WEIGERT angegebene, gewichtsanalytische Methode durch unvermeidbare Verunreinigungen immer etwas zu hohe Werte ergab. Für die energetischen Messungen wurde eine Thermosäule unter Berücksichtigung aller erforderlichen Korrektionen verwendet.

Das Resultat war, daß die photochemische Ausbeute auch in monochromatischem Licht denselben Gang mit der Anthracenkonzentration wie früher zeigte und bei hohen Konzentrationen asymptotisch einen Grenzwert erreicht. Bei ganz kleinen Konzentrationen des Anthracens unterhalb 0,005% (etwa 0,0002 norm.) ist die Ausbeute annähernd proportional der Anthracenkonzentration. Es ist kein sicher nachweisbarer Einfluß der Temperatur und des Lösungsmittels zwischen 80 und 137° vorhanden. Bei 20° in Toluol war das Güteverhältnis etwa 0,4 des Wertes bei der Siedetemperatur von 109°, was wahrscheinlich dadurch zu erklären ist, daß die Lösung bei tiefer Temperatur nicht gerührt wurde. Außerdem hatte die absolute auffallende Strahlungsenergie, die im Verhältnis 1 : 10 variiert wurde, keinen merklichen Einfluß. Alles dies stimmt sehr schön zu der BODENSTEINschen Auffassung des Reaktionsmechanismus, nur war das Güteverhältnis im Grenzwert nicht wie erwartet = 1, sondern für Hg-366 = 0,254 und für Hg-313 (mit allerdings nur wenigen Versuchen) = 0,228, d. h. es werden rund 4 Quanten verbraucht, um 1 Molekül Dianthracen zu bilden.

Zu einer Diskussion des Reaktionsmechanismus auf Grund dieses Resultates werden noch zwei halbquantitative Beobachtungen verwendet: 1. Auch bei Hg-405 findet eine deutliche Dianthracenbildung mit derselben Abhängigkeit von A wie bei 366 statt, trotzdem auch in konzentrierten Lösungen die Absorption fast unmeßbar klein ist. 2. Die Fluorescenz der Anthracenlösungen bei Hg-366 nimmt mit wachsender Konzentration stark ab. Sie verschwindet fast vollständig bei den Konzentrationen, bei denen das Güteverhältnis den Grenzwert erreicht, und nach orientierenden photometrischen Messungen der Fluorescenzhelligkeit verläuft sie gerade umgekehrt wie die photochemische Ausbeute.

Nach den Erfahrungen bei der monomolekularen Umwandlung des o-Nitrobenzaldehyds in o-Nitrosobenzoesäure werden für jedes Molekül 2 Quanten verbraucht. Das Güteverhältnis ist also 0,5. Dieser Befund, der durch bestimmte räumliche Vorstellungen erklärt wurde, gilt, wie Frl. BRODMANN demnächst zeigen wird, auch für Hg-313, also in dem ganzen Intervall von 313 bis 436 mμ. Wenn man diesen Wert 0,5 auch auf die Aktivierung eines Anthracenmoleküls überträgt, wäre für die Dianthracenbildung auch 0,5 zu erwarten. Der Grenzwert 0,25 deutet nun darauf hin, daß zur Bildung eines Moleküls Dianthracen *zwei* aktivierte Anthracenmoleküle erforderlich sind. Gegen diese Annahme spricht aber zunächst die Kinetik der photochemischen Reaktion bei kleinen Anthracenkonzentrationen, bei denen der Grenzwert noch nicht erreicht ist. Die Beobachtungen über die Fluorescenz deuten darauf hin, daß ein aktiviertes A-Molekül, das durch lockere Verbindung mit einem Lösungsmittelmolekül etwas stabilisiert ist, entweder zur Dianthracenbildung verwendet wird oder unter Emission von Fluorescenzstrahlung in den normalen Zustand zurückfällt. Ein kinetischer Ansatz für die Reaktion zwischen zwei aktivierten Molekülen könnte etwa folgende Form haben, in der K_D und K_F Geschwindigkeitskonstanten für die Dianthracenbildung und die Fluorescenzemission bedeuten.

$$\left.\begin{array}{ll} 1)\ A + h\nu = A'; & \\ 2a)\quad 2\,A' = D; & \\ 2b)\ A' = A + \text{Fluorescenz}; & \end{array}\right\} \quad +\frac{dA'}{dt} = k\,J_{abs} \qquad -\frac{dA'}{dt} = k_D A'^2 + k_F A'.$$

Die Auflösung nach der Dianthracenbildung würde aber verlangen, daß bei kleinen Konzentrationen praktisch überhaupt kein Dianthracen mehr gebildet wird, wenn man nicht den miteinander reagierenden aktivierten Anthracenmolekülen eine unmöglich große Lebensdauer zuschreiben würde, die selbst das lange Nachleuchten der Anthracenfluorescenz bei — 180° nicht erwarten läßt. In Wirklichkeit ist aber die D-Bildung schon bei sehr kleinen Konzentrationen, und auch im Violett, wo bei der sehr schwachen Absorption die stationäre Konzentration an A' sehr klein ist, sehr merklich, so daß die Ansätze die Erscheinungen nicht erklären.

Wenn aber wie bei dem BODENSTEINschen Ansatz das aktivierte Anthracen mit einem normalen Anthracen reagiert, läßt sich alles bis auf den Grenzwert 0,25 für das Güteverhältnis leicht deuten.

Auf folgendem Wege wird auch dies verständlich. Wenn nämlich A' nicht mit einem normalen A-Molekül direkt Dianthracen bildet, sondern zunächst durch Energieübertragung beim Stoß die Brückenbindung in einem anderen Anthracenmolekül löst (2a), so daß ein isomeres chemisch durchaus denkbares Anthracen mit zwei dreiwertigen Kohlenstoffatomen entsteht (A_{III}), das mit einem zweiten A_{III} unter Dianthracenbildung reagiert (3a), läßt sich nicht nur die photochemische Kinetik und das Güteverhältnis 0,25, sondern auch der ganze chemische Vorgang ungezwungen erklären. Die Reaktionsstufen sind dann:

$$\left.\begin{array}{ll} 1)\quad A + h\nu = A' & \\ 2a)\ A' + A = A + A_{III} & \\ 2b)\ A' = A + \text{Fluorescenz} & \end{array}\right\} \quad +\frac{dA'}{dt} = k\,J_{abs} \qquad -\frac{dA'}{dt} = k'A'A + k_F A';$$

$$\left.\begin{array}{ll} 3a)\quad 2\,A_{III} = D & \\ 3b)\quad A_{III} = A & \end{array}\right\} \quad -\frac{dA_{III}}{dt} = k_D A_{III}^2 + k'' A_{III}.$$

Bei tieferen Temperaturen ist offenbar die Vereinigung der beiden A_{III} (3a) schneller als die Rückverwandlung zum normalen Anthracen (3b). Bei höherer Temperatur wächst die Geschwindigkeit dieses letzten monomolekularen Vorganges schneller als die D-Bildung, und die photochemische Reaktion führt zu stationären Zuständen an Dianthracen, die mit steigender Temperatur immer kleineren Konzentrationen entsprechen, was vollständig mit den früheren Ergebnissen von LUTHER und WEIGERT übereinstimmt. Die Anthracenpolymerisation ist also eine sensibilisierte photochemische Reaktion, da das ursprünglich von dem Quant beanspruchte Anthracenmolekül nicht selbst in die Reaktion eintritt.

Die aus diesen Überlegungen resultierenden Konsequenzen in bezug auf die Photochemie komplizierter organischer Reaktionen und auf die Fluorescenz werden experimentell weiter verfolgt.

Leipzig, den 21. Dezember 1926.

FRITZ WEIGERT.

Höhenstrahlung und Heavisideschicht.

Vor kurzem wies Prof. BENNDORF in der Physikal. Zeitschr. **27**, Nr. 21, S. 686. 1926 rechnerisch nach, daß der schon lange vermutete Einfluß der Höhenstrahlung auf die sog. Heavisideschicht ganz beträchtlich ist, ja daß die Höhenstrahlung allein ausreicht, um das Vorhandensein dieser stark ionisierten Schicht in Höhen von 75—90 km auch während der Nacht erklären zu können. Daß tagsüber daneben die anderen Ionisatoren, wie Corpuscularstrahlen von der Sonne und das ultraviolette Sonnenlicht wirksam seien, steht außer Frage.

Da nun die Höhenstrahlung sternzeitliche, wenn auch nur geringe, etwa 10—15% betragende Schwankungen ihrer Intensität selbst in Erdnähe erkennen läßt, so ist anzunehmen, daß in der oberen Atmosphäre, also auch in der Heavisideschicht, diese Schwankungen der Ionisierungsstärke gleichfalls auftreten werden, wenn die stärker strahlenden Himmelspartien am Horizont dieser Höhen auf- und untergehen.

Zum Nachweis solcher Änderungen im Ionisationsgehalt der höheren Schichten könnten ähnliche Versuche wie über die Empfangsenergie bei kurzen Wellen dienen.

Es dürfte zwar nicht leicht sein, einen derartigen Fadingeffekt, der nicht scharf ausgeprägt sein wird, neben den vielen anderen Störungen festzustellen; es scheint aber immerhin nicht ausgeschlossen, daß man bei Nacht vielleicht Änderungen findet, die man als Wirkungen der Höhenstrahlung deuten kann. Mit kurzen Wellen wären solche Beobachtungen wohl am günstigsten in Nordsüdrichtung und bei Verwendung mehrmaliger Reflektion auf See anzustellen.

Vielleicht könnte man zu einer ersten Orientierung schon vorhandenes Material durchsehen; so zeigen z. B. die von AUSTIN in Proc. Inst. Radio Eng. **13**, 283. 1925 veröffentlichten Monatsmittel der Empfangsfeldstärke von Nauen (P.O.Z. $\gamma = 12{,}8$ km), in Washington um 10 Uhr Washingtonzeit aufgenommen, schon eine gewisse Übereinstimmung der Eintrittszeiten der Extreme für die Jahre 1922, 1923, 1924. Auf Rektaszensionszeit übertragen scheinen sie auf den vermuteten Zusammenhang hinzudeuten.

Es wäre natürlich vorteilhafter, zu diesem Zweck kurze Serien aufeinanderfolgender, möglichst störungsfreier Nachtbeobachtungen auszuwählen. Als geeignet kämen in Frage Rektaszension α von 14 bis 22 Uhr, sowie $\alpha = 24-4$ Uhr. Ganze Jahresreihen sind unbrauchbar, weil sich in diesen die Störungen ausgleichen, da sie mit Sternzeit eintreten.

Berlin, den 15. Dezember 1926.

WERNER KOLHÖRSTER.

Besprechungen.

KAMMERER, PAUL, **Der Artenwandel auf Inseln und seine Ursachen**, ermittelt durch Vergleich und Versuch an den Eidechsen der Dalmatinischen Eilande. Nebst einem Anhang: OTTO WETTSTEIN, **Zur Systematik der Adriatischen Insel-Eidechsen.** Leipzig und Wien: Franz Deuticke 1926. XIV, 324 S., 2 Kartenskizzen, 36 Abbildungen und 8 Tafeln. Preis RM 30.—.

Die faunistischen Eigentümlichkeiten von Inseln und Archipelen haben seit DARWINS berühmter Naturgeschichte der Galapagos die Zoologie vielfach beschäftigt und vor Probleme gestellt, die noch heute zum großen Teil ungelöst sind und zu weiterer Verfolgung anreizen. KAMMERER, der bekannte Wiener Zoologe wählte für seine Studien die der dalmatinischen Küste vorgelagerten Eilande und Riffe, weil sich erwarten ließ, daß auf so kleinen Inselchen die Wirkungen der Inselnatur besonders klar und eindeutig zutage treten. Auf mehreren Besuchen (1909, 1911, 1914) des Gebietes beobachtete er das Leben und Treiben, namentlich aber die Varietätenbildung, der dortigen Eidechsenarten und ergänzte seine Ergebnisse durch Züchtungsversuche an der berühmten biologischen Versuchsanstalt in Wien. Die Eidechsen sind für Untersuchungen über Inselprobleme ja recht günstig, weil ihr aktives und passives Wanderungsvermögen besonders gering ist. Weiter boten gerade die wichtigsten dalmatinischen Eidechsenarten den Vorteil, daß bei ihnen der Artwandel erst bis zur Bildung präzis unterscheidbarer Varietäten vorgeschritten ist, sich also noch im „status nascendi" befindet, während sich auf anderen Inseln des Mittelmeeres bereits endemische gute Arten entwickelt haben. KAMMERER beschränkt seine Untersuchungen in der Hauptsache auf die beiden Arten *Lacerta serpa* und *fiumana* (bis vor kurzem noch als Unterarten zu *L. muralis* gerechnet), die er sich als während des Tertiärs von einer gemeinsamen auf einem ehemaligen nordadriatischen Festlande lebenden Urform hervorgegangen denkt, deren Färbung ein mittleres Grau bis Braun war mit schwarzbrauner Längsstreifung und blauen Flecken in den Achselgruben und auf den Bauchrandschildchen. Auf den Eilanden und Klippen der Dalmatinischen Klippe haben sie 13 gut unterscheidbare Varietäten gebildet (*L. s.* 9; *L. f.* 4). Die Abänderungen betreffen Färbung, Größe und Form. Inselformen neigen im allgemeinen zur Verdunkelung ihres Farbkleides. Eine Vorstufe des bleibenden Melanismus von *L. s.* und *L. f.* bildet nach KAMMERER der Saisonfarbwechsel. In der warmen Jahreszeit dehnen sich die Melanophoren stark aus und verdecken die helleren Stellen der Haut. Durch diese erhöhte Tätigkeit werden die Vorbedingungen zu stärkerer Vermehrung der Melanophoren geschaffen. So kann im Laufe der Jahre der nur auf Expansion der Melanophoren beruhende Saisonfarbwechsel zum dauernden, durch Erhöhung der Zahl der Melanophoren bedingten — der physiologische zum morphologischen Melanismus führen, und dieser schließlich durch Vererbung fixiert

werden und es zur Bildung von scharf unterschiedenen Varietäten bringen. Beim Beginn der Variation ändern zuerst nur wenige Stücke ab, die Mehrheit der Population verharrt noch im typischen Zustande. Auf größeren Inseln, aber auch auf kleineren mit dichter Vegetationsdecke bleiben die Eidechsen auf Anfangsstufen der Variation stehen. KAMMERER sieht hierin einen Beleg für EIMERS „Gesetz" der Genepistase. Die Männchen eilen, was ja allgemeine Regel zu sein scheint, in der Variation voraus. Auch bleiben die weiblichen Eidechsen dem kindlichen Zustande näher und wiederholen gleich diesem ehemalige stammesgeschichtliche Zustände. Auf den dalmatinischen Inseln wird der Melanismus nie durch Ausbreitung der schwarzen Zeichnungen bis zum Schwunde der Grundfarbe bedingt.

Im Forschungsgebiete KAMMERERS finden sich 2 Zwergformen von *L. s.*, daneben aber auch 2 Riesenformen derselben Art und 2 von *L. f.* Verf. schließt daraus mit Recht, daß es in bezug auf Größe einen besonderen „Inselfaktor" überhaupt nicht gibt. Die insulare Abgeschlossenheit wirkt stets, und zwar durch Verhinderung der Amphimixis, nur dahin, daß die Entwicklung bestimmter Anlagen besonders rein und rasch vor sich geht. In der Körperform zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie in der Größe. Die Inseleidechsen neigen zu plump gebauten, breit ausladenden Formen; daneben finden sich auch Variationen in der Richtung größerer Schlankheit. Besonders charakteristisch ist ferner eine eigentümliche Verdickung des Schwanzes, die sich nur auf Inseln und Eilanden findet. Der Inselmelanismus der Eidechsen wird hervorgerufen durch das Zusammenwirkung von Hitze, Trockenheit und intensiver Sonnenstrahlung. Die kleinen Eilande und Riffe haben nicht, wie oft behauptet wurde, ein feuchtes, sondern infolge der spärlichen Pflanzendecke echtes Wüsten- oder wenigstens Steppenklima. Experimente lehren, daß trockene Hitze Verdunkelung bewirkt, feuchte die Wirkung verzögert. In der Natur ist ferner zu berücksichtigen, daß der Melanismus der Haut die inneren Organe gegen die Wirkung der ultravioletten Strahlen schützt, insofern also auch Schutzfärbung ist.

Die eigentümliche Schwanzverdickung der Inseleidechsen glaubt KAMMERER auf vererbte Superregeneration zurückführen zu können. Der Verlust des Schwanzes soll nämlich auf kleinen Eilanden infolge des dort auftretenden Kannibalismus und der besonderen Heftigkeit der Paarungskämpfe häufiger vorkommen, als auf dem Festlande. Mancherlei Schwierigkeiten, die sich seinen theoretischen Schlußfolgerungen in den Weg stellen, versteht KAMMERER sehr geschickt durch Hilfshypothesen fortzuräumen, die immer geistreich sind, aber nicht jeden Leser überzeugen werden. Leichter hätte er es sich machen können, wenn er nicht an der modernen Geringschätzung der Selektionstheorie krankte. Wenn KAMMERER z. B. den Widerspruch, der darin liegt, daß die Inseleidechsen durch das „Wüstenklima" (Hitze, Trockenheit, intensive Sonnenbestrahlung) ihrer Wohnorte, schwarz werden, die Wüsteneidechsen dagegen hell sandfarben mit mannigfachen Zeichnungen erscheinen, durch die Hypothese zu lösen sucht, daß bei letzteren offenbar von Natur aus eine „Wärmegewöhnung" besteht, durch welche das Farbkleid im Laufe der Jahrhunderte gleichsam gegen Einwirkung hoher Wärmegrade immunisiert worden ist, so ist doch die von KAMMERER selbst erwähnte, aber abgelehnte selektioniste Lösung viel einfacher und überzeugender, daß auf Eilanden, wo die Eidechsen kaum Feinde haben, der Schutz gegen zu intensive Bestrahlung, in der Wüste dagegen die Anpassung an die Bodenfarbe für die Erhaltung der Art wesentlicher war und daher im Wettkampf der beiden Variationsrichtungen siegen mußte. Überhaupt enthält KAMMERERS Buch viele schöne Beweise für die Selektionstheorie. Es ist ihm gegangen, wie so manchem, der auszog, den Darwinismus zu bekämpfen, und wider Willen Stützen für ihn liefern mußte. Die Natur ist eben so voll von klaren Beispielen für die Macht der Naturzüchtung, daß sie einem guten Beobachter gar nicht entgehen können. Doch wird jeder Leser, der sich überhaupt für Fragen des Artwandels interessiert, aus KAMMERERS Ausführungen viele Anregungen gewinnen können.

Der ethologische Teil ist besonders in den Abschnitten „Scheu und Zahmheit", „Anthropophilie", „Mutualismus" und „Periodizität" reich an guten Beobachtungen, und seine Lektüre dürfte nicht nur für den Reptilienfreund genußreich und gewinnbringend sein.

Recht mager ist leider der experimentelle Teil ausgefallen. Im Text erwähnt Verf. nur hier und da seine Versuche und stellt ihre Ergebnisse dann auf nur 4 Seiten zusammen ohne Protokolle zu geben. Hier wäre größere Ausführlichkeit wohl durchaus am Platze gewesen.

Der rein systematische Anhang von WETTSTEIN dürfte für die Leser der „Naturwissenschaften" wenig Interesse bieten. Die schönen Farbentafeln und die vielen photographischen Aufnahmen von Insellandschaften bilden einen hervorragenden Schmuck des Buches. J. GROSS, Neapel.

JOHANNSEN, W., **Elemente der exakten Erblichkeitslehre.** Mit Grundzügen der biologischen Variationsstatistik. III. Auflage. Jena: G. Fischer 1926. X., 736 S. und 21 Abbild. im Text. 16 × 23 cm. Preis geh. RM 32.—, geb. RM 34.—.

Wohl kein Buch der modernen Vererbungswissenschaft hat eine so große historische Rolle gespielt, wie JOHANNSENS Elemente der exakten Erblichkeitslehre. Die 1. Auflage (1909) war bahnbrechend und lieferte vor allem das scharf geschliffene, begriffliche Handwerkszeug, mit dem wir in der Hauptsache heute noch arbeiten. Die 2. Auflage (1913), ebenso frisch und geistvoll geschrieben, konnte gleichsam bald die Früchte der ersten einheimsen, denn die Vererbungswissenschaft war inzwischen ungeheuerlich herangewachsen und hatte die Anregungen JOHANNSENS reichlich verwertet.

Heute liegt die 3. Auflage vor. Der Verfasser betont im Vorwort, daß seine Aufgabe viel schwieriger geworden sei. „Es ist wohl dem einzelnen Fachmann unmöglich geworden, die gesamte biologische Vererbungswissenschaft in ihrer Verbindung mit der Cytologie zu beherrschen." Diese Schwierigkeiten fühlt man an der Darstellung heraus. Schon in der 2. Auflage war die Vererbungscytologie das Stiefkind, das wenig Beachtung, wohl aber harte Worte und selbst Spott sich gefallen lassen mußte. JOHANNSEN fürchtete, daß bei einem Zusammenarbeiten der experimentellen Forschung mit der Cytologie die im verschiedenen Wesen beider Richtungen begründeten eigenen Ideen- und Sprachendifferenzen sich verwischen könnten und eine heillose Unklarheit entstehen müßte.

Inzwischen ist die Wissenschaft doch diesen Weg gegangen und hat gerade durch dieses Zusammenarbeiten die größten Triumphe gefeiert. JOHANNSEN anerkennt das auch in der 3. Auflage: „Cytologische Untersuchungen spielen eine immer größere Rolle und werden vielleicht unseren Genensymbolen über

das jetzige Stadium reiner Rechnungseinheiten helfen können, wenn auch die Aussicht dafür zunächst nicht groß ist!" S. 522. Das Mißtrauen gegen die Arbeitsmethoden und Ergebnisse der cytologisch orientierten Genetiker scheint JOHANNSEN aber nicht überwinden zu können. Infolgedessen ist seine Darstellung der Chromosomentheorie der Vererbung zwiespältig und übrigens an sich recht dürftig und jedenfalls für Lernende nicht geeignet. So anerkennt JOHANNSEN, daß BRIDGES in seinen bekannten Non-Disjunktion-untersuchungen den Beweis erbracht hat, daß die geschlechtsgebundenen Gene im X-Chromosom liegen, ja er gibt selbst bei einer kursorischen Berichterstattung über die Ergebnisse der Morganschule zu, daß wir zur Annahme berechtigt sind, daß jedes Gen an einer bestimmten Stelle eines Chromosoms lokalisiert ist und kann es doch nicht unterlassen, anderwärts wieder Einschränkungen zu machen: die geschlechtsgebundenen Gene liegen zweifellos im X-Chromosom *oder werden jedenfalls stets von einem solchen begleitet* (vgl. S. 528). Weiter anerkennt JOHANNSEN, daß alle Gene, die überhaupt in Spaltungserscheinungen teilnehmen, die engsten Beziehungen zu Chromosomen haben. Nun wissen wir, namentlich aus den GOLDSCHMIDTschen Untersuchungen an Lymantria, daß ein Teil der Geschlechtsfaktoren mendelt. Also müßten diese in Chromosomen, speziell im X-Chromosom liegen. Trotzdem vertritt JOHANNSEN die HAECKERSche Indexhypothese, die Geschlechtschromosomen sind weiter nichts als Indices der schon vollzogenen Geschlechtsbestimmung! Wenn beim Übergang der parthenogenetischen Generation der Blattläuse in die zweigeschlechtliche ein X-Chromosom ausgestoßen wird, so „zeigt das ganze Spiel schlagend, daß die X-Chromosomen recht passiv sich verhalten: Die primäre Bestimmung des Geschlechts kann von ihnen nicht ausgehen, sie werden sozusagen „nach Bedarf" ausgestoßen oder zurückgehalten", S. 510. Diese fadenscheinige Argumentation ist längst widerlegt! Natürlich wirken hier „primär" Faktoren, die das X-Chromosom über Bord werfen können. Daraus folgt aber nicht, daß die X-Chromosomen nicht Träger von Geschlechtsfaktoren sind.

JOHANNSEN schließt sein Kapitel über Geschlechtsbestimmung mit der Folgerung: „Bei der die Gametenbildung einleitenden Reduktionsteilung im heterogameten Geschlecht muß das primäre wohl die Plazierung des X- bzw. evtl. auch des Y-Chromosoms in der einen oder anderen Tochterzelle sein" S. 525/526. Das also wäre das Facit der seit 1913 geleisteten Arbeit über Geschlechtsbestimmung und Vererbung?! Man denke an die fundamentalen Ergebnisse GOLDSCHMIDTS namentlich!

Aber auch andere, rein experimentelle Ergebnisse von umwälzender Bedeutung sind in der neuen Auflage nicht ihrer Bedeutung entsprechend behandelt, so der BAURsche Nachweis der Nichtkonstanz der reinen Linien. Man kann also nicht behaupten, daß die 3. Auflage die stolze Höhe beibehalten hat, die das Buch ursprünglich innehatte. Trotzdem ist sie zu begrüßen, denn sie bringt viele neue Anregungen und hat natürlich die hervorragende Grundanlage der Vorgängerinnen geerbt.

J. SEILER, München.

STEMPELL, W., **Zoologie im Grundriß.** 1.—5. Lieferung. Berlin: Gebr. Borntraeger 1925 und 1926. 18 × 26 cm. Preis pro Lieferung RM 6.90.

Unsere klassischen Lehrbücher der Zoologie sind, gemäß der Zeit ihrer Entstehung, vorwiegend systematisch-morphologisch eingestellt. Die vergleichende Physiologie und Entwicklungsmechanik, die Ökologie und Vererbungslehre, die in den letzten Dezennien das Feld der Forschung beherrschen, werden nur in beschränktem Maße berücksichtigt. Ein Buch, das auch diesen neueren Richtungen voll gerecht wird, war zu einem immer dringenderen Bedürfnis geworden. STEMPELL hat die nicht kleine Aufgabe auf sich genommen und legt ein modernes, umfassendes Lehrbuch der Zoologie vor.

Der im Vorwort entwickelte Plan ist vortrefflich: Ohne Vernachlässigung der Morphologie, die nun einmal die Grundlage unserer Wissenschaft bleibt, soll das Buch alle Teilgebiete gleichmäßig berücksichtigen, über alle wesentlichen Fragen der Zoologie Auskunft geben, in keinem wichtigen Punkt rückständig sein. Eine knappe und klar gefaßte Darstellung im Text soll durch reichliche Abbildungen unterstützt werden, die an unbedingter Klarheit und Richtigkeit den höchsten Ansprüchen genügen und dabei ästhetisch gefällig sein sollen. Alle traditionellen Bilder, die diesem strengen Maßstabe nicht entsprechen, werden ausgemerzt. Um gegen den unvermeidlichen Schematismus der Textfiguren ein Gegengewicht zu schaffen, wird als Anhang auf einer Reihe von Tafeln eine willkürliche Auswahl von Lichtbildern nach der Natur angefügt.

Der Autor eines solchen Buches kann es unmöglich allen recht machen, und wird vom einen hier, vom anderen da bemängelt werden. Es wäre undankbar, wollte man angesichts dieser gewaltigen Arbeitsleistung Einzelheiten beanstanden, an einem Werk, das keiner ohne Nutzen aus der Hand legen wird. Aber das Ganze scheint mir an einem Fehler zu kranken. Die Klarheit der Darlegungen hat, entgegen der im Vorwort skizzierten Absicht, wesentlich gelitten, und zwar unter dem Bestreben des Autors, nicht zu weitläufig zu werden und doch nichts Wissenswertes zu unterdrücken. Zu viel Tatsachen sind, um sie unterzubringen, ohne Verknüpfung aneinandergereiht und ineinandergeschachtelt, ohne genügende Rücksicht auf die Psyche des Studierenden, der das Gelesene auch erfassen und behalten soll. Besonders aufgefallen ist mir in dieser Hinsicht z. B. im histologischen Abschnitt die Schilderung der Pigmentzellen (S. 34, 35), in der speziellen Formenübersicht die Beschreibung der Cnidaria (S. 96 f.) oder des Gehörorganes der Wirbeltiere (S. 323 ff.), im physiologischen Teil der chemische Sinn (S. 568—570) oder die Funktion des Facettenauges (S. 579—581) — einige Beispiele, die sich leider beliebig vermehren ließen. Es dürfte dem Anfänger, für den das Buch doch in erster Linie geschrieben ist, schwer fallen, sich hier das Wesentliche herauszuholen. Auch die Ausdehnung von Abbildungsgruppen über mehrere Seiten und die bisweilen überlangen Erklärungen zu denselben, die dann häufig auf anderer Seite zu suchen sind als die Bilder selbst, scheinen mir in didaktischer Hinsicht nicht glücklich.

Sollte ich mich täuschen, und bewährt sich das Buch im Unterricht, so werde ich zu denen gehören, die sich darüber am meisten freuen. Denn die Anlage des Ganzen ist gut, und viele Teile sind sicher auch in den Einzelheiten gelungen. Besonders möchte ich dies von dem Kapitel „Stammesgeschichte" hervorheben. Es tut wohl, wie hier gegenüber gewissen einseitigen Auffassungen der gesunde Menschenverstand zur Geltung kommt — wie der Autor überhaupt in so vielen strittigen Fragen, die naturgemäß berührt werden müssen, einen kritischen, vorsichtig abwägenden Standpunkt wahrt.

K. v. FRISCH, München.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.